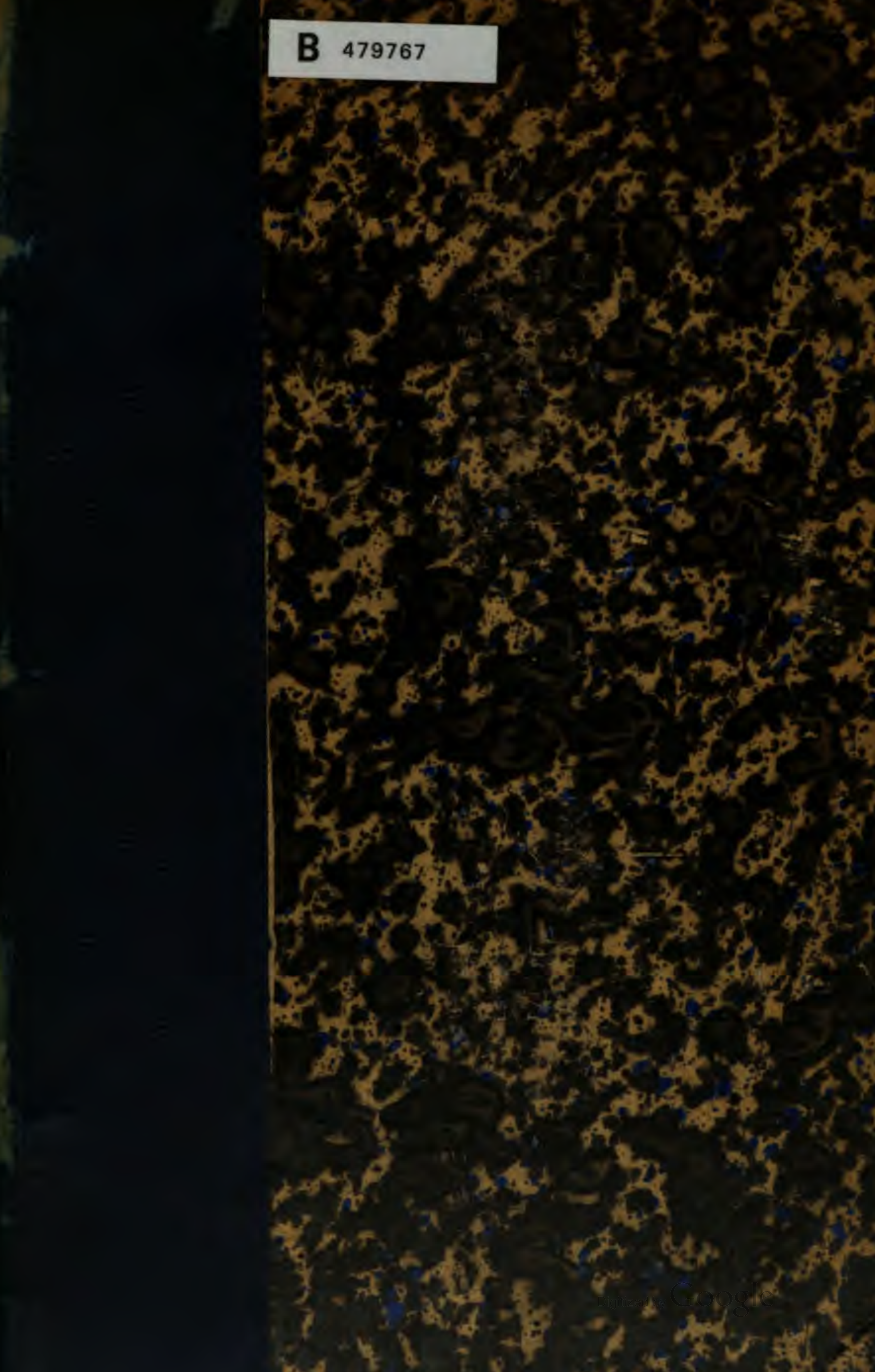
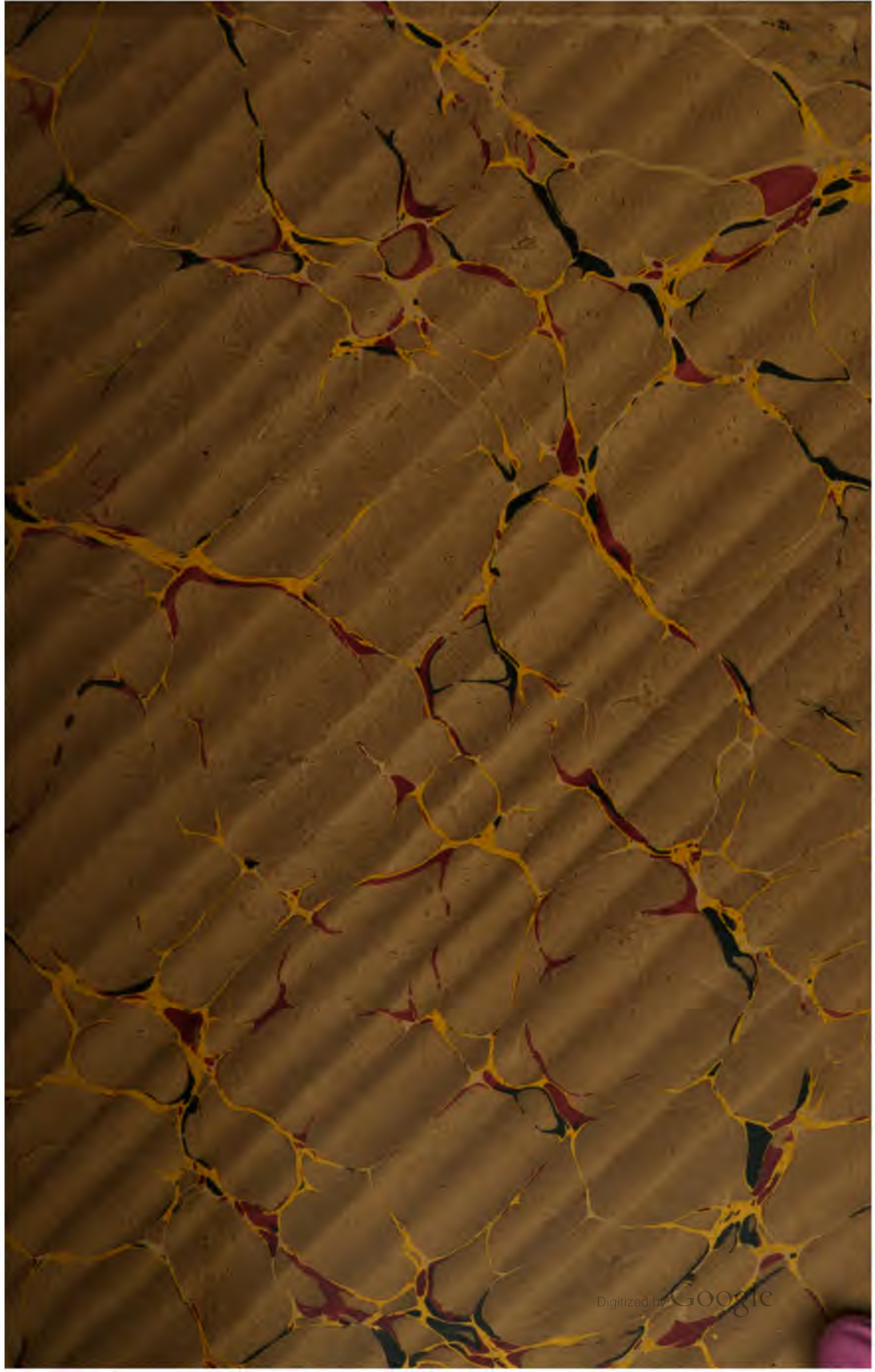



1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
Librairie Française,
H. Welter à Paris
59, Rue Bonaparte 59.
Librairie étrangère.
Digitized by Google



LES

MINÉRAUX DES ROCHES

328 41

LES

MINÉRAUX

DES ROCHES

1° APPLICATION DES MÉTHODES MINÉRALOGIQUES ET CHIMIQUES
A LEUR ÉTUDE MICROSCOPIQUE

PAR

A. Auguste MICHEL LÉVY
Ingénieur en chef des mines,
Directeur du service de la Carte géologique détaillée de la France.

2° DONNÉES PHYSIQUES ET OPTIQUES

PAR

A. MICHEL LÉVY ET ALF. LACROIX

Avec 218 figures dans le texte et une planche coloriée.



PARIS
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, BAUDRY ET Cie, ÉDITEURS
15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15
MAISON A LIÈGE, RUE LAMBERT-LEBÈGUE, 19

1888

AVANT-PROPOS

J'avais primitivement pensé à réunir et à développer les divers mémoires personnels que j'ai fait paraître sur les propriétés optiques des minéraux contenus dans les plaques minces des roches cristallines, et qui ont été publiés à l'origine dans les *Annales des mines*, et dans les *Bulletins des Sociétés géologique et minéralogique de France.*

Mais je n'ai pas tardé à dévier du but que je m'étais d'abord proposé, et à réunir des documents sur toutes les méthodes réellement pratiques, qui sont actuellement utilisées pour assurer le diagnostic des sections minérales, semées au hasard dans les plaques minces, et dont l'orientation n'est pas connue et voulue.

Dès lors, il m'a paru utile de présenter également un résumé des méthodes microchimiques qui contrôlent si efficacement les déterminations optiques.

On trouvera, dans la seconde partie de ce livre, une monographie, par ordre alphabétique, des données physiques et optiques afférentes aux minéraux des roches; faite en collaboration avec M. Lacroix, préparateur au Collège de France, cette seconde partie contient un grand nombre de données numériques et de documents nouveaux, et nous la croyons aussi complète que possible dans l'état actuel de la science.

Ce livre est donc le complément naturel de la *Minéralogie Micrographique* que j'ai fait paraître en 1878, en collaboration avec mon maître et ami M. Fouqué, qui a bien voulu nous donner ses

précieux conseils et l'aide de ses collections et de son laboratoire.

On a supposé le lecteur familier avec les méthodes et les notations usuelles de la minéralogie ; à ce point de vue, les lecteurs français ont maintenant deux livres didactiques excellents, ceux de MM. MALLARD[1] et de LAPPARENT[2], qu'il eût été bien inutile de chercher à résumer.

Les données optiques et minéralogiques déjà connues ont été puisées dans les travaux de M. DES CLOIZEAUX[3], dans la seconde édition de la *Mikroskopische Physiographie* de M. ROSENBUSCH[4], et dans plusieurs mémoires récents dont la bibliographie se trouve jointe à la description de chaque minéral. Nous avons d'ailleurs procédé, M. LACROIX et moi, à un grand nombre de déterminations et de mesures nouvelles.

Les réactions microchimiques ont fait l'objet d'un récent travail d'ensemble dû à MM. KLÉMENT et A. RENARD[1], et que nous avons mis à contribution.

Paris, le 1er mars 1888.

[1] MALLARD. « Traité de Cristallographie. » DUNOD, 1884.

[2] DE LAPPARENT. « Cours de Minéralogie. » SAVY, 1884.

[3] DES CLOIZEAUX. « Manuel de Minéralogie. » DUNOD, 1862.

[4] ROSENBUSCH. « Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien. » Stüttgart, F. KOCH, 1885.

[5] C. KLÉMENT et A. RENARD. « Réactions microchimiques. » Bruxelles, A. MANCEAUX, 1886.

INTRODUCTION

LETTRE A M. MICHEL LÉVY

Mon cher ami,

Le traité de Minéralogie micrographique, que nous avons fait paraître en 1879, a été le premier ouvrage classique publié en France sur la science des roches, récemment modifiée par l'introduction de nouveaux moyens d'observation.

Depuis lors, nous n'avons cessé de travailler à répandre dans notre pays la connaissance des procédés de recherche que, chaque jour, nous trouvions de plus en plus fructueux. Aux minéralogistes nous nous sommes efforcés de prouver la nécessité de nos méthodes pour la détermination des minéraux de très petites dimensions. Aux géologues nous avons fait valoir leur excellence pour l'examen des roches cristallines.

Enfin, dans ces derniers temps, nous avons senti que le moment était venu de retracer à nouveau dans un ouvrage didactique l'état de notre science. Sur mes instances répétées, vous avez bien voulu vous charger de cette tâche difficile, pour laquelle j'ai été heureux de pouvoir vous

procurer l'assistance de mon jeune préparateur, M. Lacroix.

L'ouvrage que vous publiez, se recommande à la fois par les notions générales, qui en forment la première partie, et par la collection de documents minéralogiques qui enrichissent la seconde.

Il contribuera certainement dans une large mesure à la propagation de la science des roches. C'est par des efforts de ce genre que nos méthodes micrographiques finiront par conquérir la place qui leur est due dans les programmes universitaires et dans l'enseignement des grandes écoles.

Je vous serre affectueusement la main.

F. FOUQUÉ,
DE L'INSTITUT.

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

RECHERCHES SUR L'APPLICATION DE LA MINÉRALOGIE OPTIQUE AUX MINÉRAUX DE TRÈS PETITES DIMENSIONS, ASSOCIÉS EN PLAQUES TRÈS MINCES.

GÉNÉRALITÉS

Chapitre I. — Extinctions en lumière parallèle entre les nicols croisés



CHAPITRE II. — DÉTERMINATION DU SIGNE DANS LES SECTIONS EN PLAQUE MINCE

CHAPITRE III. — MESURE DE LA BIRÉFRINGENCE DES SECTIONS EN PLAQUE MINCE; RECHERCHE DE LA BIRÉFRINGENCE MAXIMUM D'UN MINÉRAL.

CHAPITRE IV. — DES POSITIONS D'ÉGALE INTENSITÉ LUMINEUSE DE DEUX MINÉRAUX FAIBLEMENT BIRÉFRINGENTS, JUXTAPOSÉ EN PLAQUE MINCE. SUPERPOSITIONS.

CHAPITRE V. — UTILISATION DE LA LUMIÈRE CONVERGENTE

Chapitre VI. — Réfringence

Chapitre VII. — Polychroïsme

Chapitre VIII. — Réactions micro-chimiques

DEUXIÈME PARTIE

DESCRIPTION SOMMAIRE DES PRINCIPAUX MINÉRAUX DES ROCHES

LES

MINÉRAUX DES ROCHES

PREMIÈRE PARTIE

RECHERCHES

SUR L'APPLICATION DE LA MINÉRALOGIE OPTIQUE

A L'ÉTUDE DES MINÉRAUX DE TRÈS PETITES DIMENSIONS ASSOCIÉS EN PLAQUES TRÈS MINCES

GÉNÉRALITÉS

L'étude de certaines associations minéralogiques, et notamment de la plupart des roches compactes qui composent l'écorce terrestre, nécessite la préparation de plaques transparentes, excessivement minces, dans lesquelles les minéraux de très petites dimensions puissent être vus sans superpositions trop multiples. Dans ces conditions, les minéraux se distinguent individuellement et l'on peut en aborder l'examen détaillé.

A ce point de vue, M. Sorby, en montrant (1856-1858) que la plupart des roches peuvent être réduites en plaques minces de quelques centièmes de millimètre d'épaisseur, a donné aux études lithologiques une féconde impulsion, dont la minéralogie n'a pas tardé à bénéficier de son côté. On conçoit en effet que l'emploi de lames relativement épaisses masque en général les inclusions étrangères, qui rendent impur le minéral étudié, et dissimule d'autre

part les groupements cristallins ou les anomalies optiques, en ne laissant parvenir à l'œil qu'une impression d'ensemble, qui ne permet pas de détailler les délicats phénomènes d'interférence que l'on provoque dans les milieux biréfringents.

Les procédés de préparation des plaques minces et l'habileté manuelle des préparateurs ont été se perfectionnant sans cesse; actuellement les plaques minces couramment étudiées ont une épaisseur oscillant entre $0^{mm},01$ et $0^{mm},03$; elles ne dépassent pas ce maximum; car le quartz, dans ses plages les plus biréfringentes, reste dans le blanc pur et n'atteint pas le blanc paille de premier ordre. On a fait d'ailleurs de nombreuses mesures directes de ces épaisseurs et ces mesures ont confirmé les chiffres précédents.

But à atteindre. — Le but à atteindre est d'appliquer, à l'étude des minéraux associés dans de telles plaques minces, les procédés optiques d'investigation usités en minéralogie ; on sait qu'ils tendent à la détermination des éléments de l'ellipsoïde inverse d'élasticité (E) de Fresnel, en grandeur et en position, relativement aux axes cristallographiques.

Lorsque les cristaux sont isolés et de dimensions maniables, on peut, en partant de leurs formes extérieures ou de leurs clivages, disposer de leur orientation et les tailler en lame mince suivant une direction voulue; c'est ainsi que la plupart des constantes optiques ont été déterminées.

Les cristaux microscopiques [1], associés en lames très minces, ne permettent pas une pareille étude ; mais ils présentent un nombre indéfini de sections orientées dans tous les sens, soit que le minéral en question soit abondamment réparti dans une seule plaque mince d'environ un centimètre carré de surface ; soit encore, chose rarement nécessaire, que l'on soit amené à l'étudier dans plusieurs plaques minces.

Mesures possibles. — Alors, tantôt certains phénomènes optiques présentent d'eux-mêmes un maximum susceptible de mesure ; tel

[1] On entend sous cette désignation les cristaux visibles seulement à un grossissement de 30 diamètres. Quant aux autres, on peut souvent les extraire et leur appliquer les procédés ordinaires.



est le cas de la biréfringence. Tantôt il convient de déterminer le problème qui, sans cette détermination, ne présenterait pas de données mesurables; tel est le cas des extinctions en lumière parallèle, qu'il convient d'étudier dans des sections choisies au préalable et de rapporter à des directions cristallographiques spéciales. Deux opérations doivent donc se succéder; la première consiste dans le choix des sections convenables; la seconde, dans la mesure des données optiques qui leur sont applicables.

La plaque mince découpe, dans l'association des divers minéraux juxtaposés, une foule de sections polygonales à contours plus ou moins réguliers. La nature des traces de clivage, celle des inclusions, le relief et le poli de chaque minéral, sa coloration, sont autant de propriétés qui, pour ainsi dire, sautent aux yeux en lumière naturelle, et permettent de faire un premier triage pendant lequel il convient d'abaisser le condenseur du microscope ou même de le supprimer.

Chaque minéral fournit ainsi un certain nombre de sections réelles qui, parallèlement à la plaque mince, découpent des ellipses idéales dans l'ellipsoïde (E). Considérons une onde plane polarisée qui chemine dans l'intérieur d'un cristal en déterminant une vibration rectiligne; cette vibration est parallèle à l'un des rayons vecteurs de l'ellipsoïde (E), et l'on sait que la vitesse de propagation normale de l'onde considérée est inversement proportionnelle à ce rayon vecteur.

Ce dernier, par un choix convenable d'unité, est donc égal à l'indice de réfraction de cette onde.

Soient $n_g > n_m > n_p$ les indices de réfraction principaux du minéral étudié; son ellipsoïde (E) aura pour équation :

$$(E) \quad \frac{x^2}{n_g^2} + \frac{y^2}{n_m^2} + \frac{z^2}{n_p^2} = 1$$

et l'intersection de cet ellipsoïde par la plaque mince sera une certaine ellipse (E′) qui, rapportée à ses axes, aura pour équation :

$$(E') \quad \frac{x^2}{n_g'^2} + \frac{y^2}{n_p'^2} = 1$$ [1]

[1] On sait que l'on a : $n'_g < n_g$ et $n'_p < n_p$.

Principales divisions à effectuer dans l'examen optique. — Le microscope polarisant nous permettra de préciser la position des deux axes principaux n'_g et n'_p de l'ellipse (E') (*extinctions en lumière parallèle*), de distinguer ces deux axes entre eux (*signes*), de déterminer la différence $n'_g - n'_p$ (*biréfringence*), enfin d'avoir une notion sur la grandeur absolue des indices (*réfringence*).

Les différences constatées par l'emploi de diverses lumières monochromatiques nous donneront des indications sur la *dispersion*.

En utilisant un seul nicol, nous pourrons constater si le minéral est *polychroïque* et quelles sont les deux couleurs principales coïncidant avec les directions n'_g et n'_p en plaque très mince.

Enfin l'emploi de la *lumière convergente* est devenu courant et rapide avec les plaques les plus minces et les minéraux les plus petits; certaines sections convenablement orientées nous donneront donc des notions sur l'ellipsoïde (E) tout entier, nous indiqueront si cet ellipsoïde est ou non de révolution, et quels sont l'angle et la position des axes optiques.

CHAPITRE PREMIER

EXTINCTIONS EN LUMIÈRE PARALLÈLE ENTRE LES NICOLS CROISÉS

Parmi les nombreuses sections qu'un minéral déterminé présente, en plaque mince, entre les nicols croisés, il semble au premier abord que la plus grande confusion règne, quant aux directions d'extinction de ses diverses plages, extinctions qui se produisent quand les axes n'_g ou n'_p coïncident avec les plans principaux des nicols.

On est porté à chercher leurs rapports avec les contours extérieurs des sections et avec les accidents notables de leur forme, notamment avec la trace des faces les plus développées et des clivages.

Dès lors le problème est déterminé et susceptible de solutions générales.

Conditions de symétrie. — Tout plan de symétrie cristallographique est un plan de symétrie de l'ellipsoïde (E) et contient par conséquent deux des axes n_g, n_m, n_p. Tout axe de symétrie cristallographique coïncide avec un des trois axes n_g, n_m, n_p. Tout axe de symétrie d'ordre supérieur à deux suppose l'ellipsoïde (E) de révolution, et coïncide avec son axe de révolution.

Il en résulte que toute section parallèle à un axe de symétrie paire (et par conséquent perpendiculaire à un plan de symétrie) s'éteindra suivant ces deux directions rectangulaires. Si le cristal est régulièrement développé et coupé près de son centre, la section sera elle-même symétrique par rapport à ces deux directions; sinon, elle conserve toujours sa symétrie relativement à l'une d'elles, qui est la trace du plan de symétrie. Nous faisons abstraction ici des formes hémiédriques.

Toute section perpendiculaire à un axe de symétrie, d'ordre supérieur à deux, se montrera constamment éteinte [1] entre les nicols croisés et permettra de juger de cet ordre même, qui est sénaire dans le système hexagonal, quaternaire dans le système quadratique, ternaire dans le système rhomboédrique.

Les traces des plans de clivage également facile obéiront toujours rigoureusement à ces conditions nécessaires de symétrie.

Remarquons encore que les sections circulaires de l'ellipsoïde (E) sont nécessairement parallèles à un axe binaire dans le système orthorhombique, et peuvent l'être dans le système monoclinique, quand l'orthodiagonale coïncide avec l'axe n_m.

Telles sont les conditions qui lient les directions d'extinction à la symétrie cristallographique dans le cas le plus général. On en conclura qu'une section d'apparence symétrique, qui s'éteint dissymétriquement, appartient au système triclinique ou à certaines zones du système monoclinique : tel est le cas de la zone $p\,h^1$ dans les feldspaths plagioclases, de la face g^1 dans certains cristaux monocliniques. D'ailleurs la fréquence des extinctions symétriques décèle l'existence d'axes binaires de plus en plus nombreux.

Allongement, aplatissement, plans de macle. — On peut limiter et rendre plus fructueuse la recherche des positions d'extinction, en recourant, à la considération de l'allongement ou de l'aplatissement des cristaux suivant des directions propres à chaque minéral.

Bravais, considérant les cristaux comme un assemblage réticulaire de molécules, a démontré théoriquement que les plans de clivages les plus faciles correspondent aux plans réticulaires les plus denses du milieu cristallin. C'est suivant ces mêmes plans que le cristal a le plus de tendance à se développer ; s'ils sont parallèles entre eux, il en résultera un *aplatissement* très marqué ;

[1] La lumière, qui tombe sur le miroir du microscope, n'est pas reflétée dans une direction rigoureusement unique ; lorsqu'on a affaire à une section perpendiculaire à un axe optique, elle est voisine d'être également normale à un axe de réfraction conique extérieure. Dès lors on se trouve dans le cas des expériences de Lloyd, et on aperçoit parfois un anneau de la section qui ne s'éteint dans aucune position entre les nicols croisés. M. Kalkowsky en a fait la remarque. (Zeitsch. für Kryst., IX, 487, 1884.)

s'ils se coupent, l'intersection des clivages similaires ou des deux séries les plus faciles constituera une direction d'*allongement* favori, d'autant plus caractérisée que les cristaux se seront développés plus rapidement et auront ainsi échappé à l'influence de milieux successifs et complexes.

Tel est en effet le cas de toute une classe de cristaux de très petite dimension, appelés microlithes, que les études lithologiques modernes ont fait découvrir dans les roches, et qui souvent en constituent la masse principale.

Dans les deux hypothèses précédemment admises, aplatissement suivant un plan, allongement suivant une droite, correspondant à une arête déterminée du cristal, il y a une zone de sections particulièrement intéressante à considérer; c'est celle qui donne dans les plaques minces les sections les plus allongées par rapport à leur épaisseur; de plus, quand les traces de clivages y apparaissent nettement, elles sont parallèles entre elles et à l'allongement de la section.

Cette zone intéressante, puisque les sections, qui lui appartiennent, sautent pour ainsi dire aux yeux et sont douées de caractères nettement définis, est perpendiculaire au plan d'aplatissement ou parallèle à l'arête d'allongement favori.

L'expérience, d'accord avec la théorie proposée par Bravais, démontre que les plans à considérer sont ceux dont les symboles sont les plus simples. Ainsi l'aplatissement a lieu dans les micas et dans la tridymite suivant le plan p (001), dans certains feldspaths suivant le plan g^1 (010).

L'allongement a lieu suivant l'intersection des plans m (110) dans l'apatite, m (110) ou h^1 (100) dans le zircon, le rutile, la wernérite, m (110) dans l'amphibole et le pyroxène, ph^1 (001) (100) dans l'épidote et la wollastonite, pg^1 (001) (010) dans les feldspaths, h^1g^1 (100) (010) dans le disthène, etc.

On peut avancer d'une façon générale que, dans les systèmes *hexagonal, quadratique* et *rhomboédrique,* l'aplatissement a lieu perpendiculairement à l'axe d'ordre supérieur à 2; sinon l'allongement lui est parallèle. Il en résulte que les extinctions des zones intéressantes se font constamment suivant la longueur et, dans certains cas, rigoureusement suivant les traces d'un clivage facile.

En effet, lorsque l'unique clivage facile, comme dans le mica noir, est perpendiculaire à l'axe de révolution de l'ellipsoïde (E), sa trace sur une section quelconque représente celle des sections circulaires et par conséquent l'extinction se fait constamment et rigoureusement suivant sa direction, quelle que soit l'orientation de la section considérée.

Dans le système *orthorhombique,* l'aplatissement est perpendiculaire, ou l'allongement parallèle à un des trois axes binaires et les extinctions des sections allongées sont encore parallèles à l'allongement.

Le système *monoclinique* présente un allongement favori suivant l'axe binaire, ou suivant une des arêtes principales contenues dans le plan g^1 de symétrie. Dans le premier cas, les extinctions sont longitudinales ; dans le second, elles varient suivant la position de l'ellipsoïde E par rapport à l'arête de zone. L'angle d'extinction maximum des diverses sections de la zone, mesuré par rapport à la direction constante de l'arête d'allongement, peut alors devenir caractéristique du minéral étudié ; tel est le cas pour l'amphibole, le pyroxène, l'orthose. Il est à remarquer que cette arête de zone est ici contenue dans un des plans principaux d'élasticité optique, ce qui simplifie considérablement la recherche théorique de ce maximum.

Enfin dans le système *triclinique,* l'allongement est quelconque et le problème reprend sa généralité. Cependant dans quelques cas spéciaux, l'arête d'allongement est encore très voisine d'un plan principale d'élasticité optique ; telle est par exemple l'intersection h^1g^1 (100) (010) dans le disthène, pg^1 (001) (010) dans une partie des feldspaths tricliniques.

Plans de macles. — Dans les macles avec axe de rotation perpendiculaire à la face d'assemblage, il existe un moyen facile de reconnaître avec précision les sections perpendiculaires à cette face : les ellipses (E′) y sont symétriquement placées, l'une par rapport à l'autre, de part et d'autre de la trace du plan de macle. Dès lors la zone perpendiculaire à ce plan peut donner des extinctions à maximum caractéristique. Tel est le cas de la macle suivant la loi de l'albite et suivant celle de la péricline dans les felds-

paths tricliniques, tel est celui de la macle suivant h^1 dans l'amphibole et le pyroxène.

On voit que le problème des extinctions, présentées par les diverses sections d'une zone, se pose pour plusieurs des minéraux les plus importants qui s'associent pour former les principales roches de l'écorce terrestre. Nous allons chercher sa solution.

Des angles d'extinction de sections en zone[1].—On sait que l'extinction d'un minéral à deux axes, coupé suivant une section quelconque, se fait parallèlement à la trace, sur le plan de section, des plans bissecteurs de l'angle dièdre ayant pour arête la normale à la section et dont les côtés passent par chacun des axes optiques (Fresnel).

Considérons (fig. 1) la sphère ayant un rayon égal à l'unité. Prenons pour plan du tableau celui des axes optiques OA, OB.

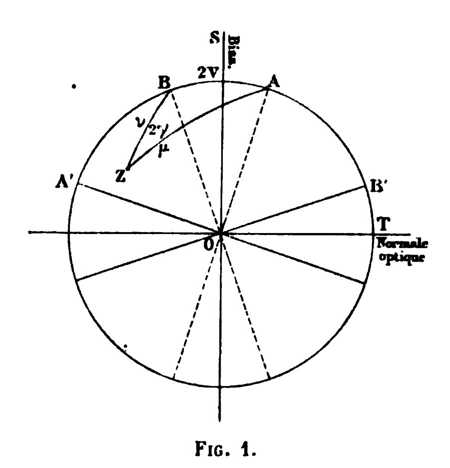


Fig. 1.

Soit OS la bissectrice de l'angle $2\ V = \text{ou} < \frac{\pi}{2}$; OT la normale optique. L'arête de zone perce la sphère en Z et nous pouvons toujours choisir ces données de telle façon que la somme des angles $AZ = \mu$ et $BZ = v$ soit au plus égale à π.

$$\mu + v = ou < \pi$$

[1] Michel Lévy, *Ann. des mines*. 394, XII, 1877.

Nous prendrons pour angle auxiliaire l'angle AZB $= 2\gamma$ que l'on pourra calculer en fonction des données. En effet, si on pose

$$2V + \mu + v = 2p$$

on a dans le triangle sphérique AZB

$$\cos 2V = \cos \mu \cos v + \sin \mu \sin v \cos 2\gamma$$

$$\text{et } tg\,\gamma = \sqrt{\frac{\sin(p-\mu)\sin(p-v)}{\sin p \sin(p-2V)}}$$

Remarquons que, lorsque l'arête de zone est située dans le plan des axes optiques, on a

$$\gamma = 0 \text{ ou } \frac{\pi}{2} \qquad \mu \pm v = 2V$$

Lorsque le plan de la bissectrice (b) et de l'axe d'élasticité moyenne (e) contient l'arête de zone, on a

$$\mu = v$$

Enfin si l'arête de zone est comprise dans le plan de la normale optique (n) et de l'axe d'élasticité moyenne (e), on trouve

$$\mu = \pi - v \quad \text{ou} \quad \mu + v = \pi$$

Appelons x (fig. 2) l'angle du plan mobile de la zone avec le plan

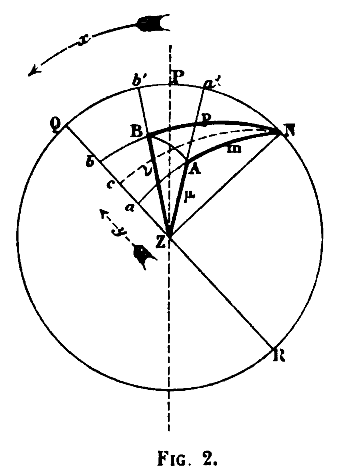


Fig. 2.

bissecteur Z P de l'angle 2γ ; choisissons comme plan du tableau le lieu des normales N à l'arête de zone. Soit Q R un des plans

de la zone. Prolongeons les arcs de cercle Z A, Z B en a' et b'; N A, N B en a et b. Enfin menons, par la normale N, le plan bissecteur N c de l'angle dièdre A N B. La trace de ce plan sur le plan O R de la zone nous donne la direction d'extinction cherchée ; et nous appellerons y l'angle Z c, fait dans le plan Q R de la section par la direction d'extinction avec l'arête de zone.

Avec les données de la figure 2 on a

$$y = \frac{a\,Z + b\,Z}{2}$$

Or $a\,Z = Z\,N\,A = \frac{\pi}{2} - A\,N\,a'$

et dans le triangle sphérique rectangle A N a',

$$tg\ \mathrm{AN}a' = \frac{tg\ \mathrm{A}\ a'}{\sin \mathrm{N}\ a'} = \frac{\operatorname{cotg} \mu}{\cos(x+\gamma)}$$

D'où l'on déduit $tg\ aZ = tg\ \mu \cos(x+\gamma)$

de même $tg\ bZ = tg\ v \cos(x-\gamma)$

et enfin

$$(1)\ \operatorname{Cotg} 2\,y = \operatorname{Cotg}(aZ + bZ) = \frac{1 - tg\ \mu\ tg\ v \cos(x+\gamma)\cos(x-\gamma)}{tg\ \mu \cos(x+\gamma) + tg\ v \cos(x-\gamma)}$$

ou en développant les *tg* et les *cos :*

$$(2)\ \operatorname{Cotg} 2\,y = \frac{[\cos\mu \cos v - \sin\mu \sin v \cos^2\gamma] + [\sin\mu \sin v]\sin^2 x}{[\cos\gamma \sin(\mu+v)]\cos x - [\sin\gamma \sin(\mu - v)]\sin x}$$

$$= \frac{A + B\sin^2 x}{C\cos x - D\sin x}$$

Propriétés générales des courbes en xy. Il s'agit de chercher, dans le cas le plus général, les courbes en xy, et de déterminer quelques-unes de leurs propriétés.

On peut, dans ce but, mettre l'équation (2) sous une forme plus commode et susceptible d'une interprétation géométrique.

Posons

$$C\cos x - D\sin x = M\sin(\alpha - x)$$

On en déduit

$$C = M\sin\alpha \quad D = M\cos\alpha$$

et

$$C^2 + D^2 = M^2$$

$$tg\ \alpha = \frac{C}{D} = \frac{\sin(\mu + v)}{\sin(\mu - v)} \operatorname{cotg} \gamma$$

Pour $x = \alpha$

$$\operatorname{cotg} 2\,y = \infty \quad \text{et}\ y = n\,\pi$$

Si l'on reporte en α l'origine des x, ce qui revient à poser $x' = x - \alpha$ et $x = x' + \alpha$, un calcul très simple permet de mettre l'équation fondamentale (2) sous la forme

$$(3)\quad \operatorname{Cotg} 2\,y = \frac{P}{\sin x'} + Q \sin x' + R \cos x'$$

qu'il convient de rapprocher du double tableau suivant :

$$A = \cos\mu \cos v - \sin\mu \sin v \cos^2\gamma$$
$$B = \sin\mu \sin v$$
$$C = \sin(\mu + v)\cos\gamma$$
$$D = \sin(\mu - v)\sin\gamma$$

$$P = \frac{C^2(A + B) + D^2 A}{(C^2 + D^2)\sqrt{C^2 + D^2}} = \frac{A(C^2 + D^2) + B\,C^2}{(C^2 + D^2)\sqrt{C^2 + D^2}}$$

$$Q = \frac{B(D^2 - C^2)}{(C^2 + D^2)\sqrt{C^2 + D^2}}$$

$$R = \frac{2\,B\,C\,D}{(C^2 + D^2)\sqrt{C^2 + D^2}}$$

On prend le radical avec le même signe partout.

On peut encore simplifier l'équation (3) en posant :

$$Q \sin x + R \cos x = T \sin(x + \beta)$$

d'où

$$Q = T\cos\beta \qquad R = T\sin\beta \qquad tg\,\beta = \frac{2\,C\,D}{D^2 - C^2}$$

et

$$Q^2 + R^2 = T^2 \qquad T = \frac{B}{\sqrt{C^2 + D^2}}$$

On voit alors que

$$(4)\quad \operatorname{Cotg} 2\,y = \frac{P}{\sin x} + T\sin(x + \beta)$$

ou

$$Y = Y_1 + Y_2$$

Les deux courbes Y_1 et Y_2 se construisent facilement et donnent à l'œil une notion de la courbe en cotg $2y$.

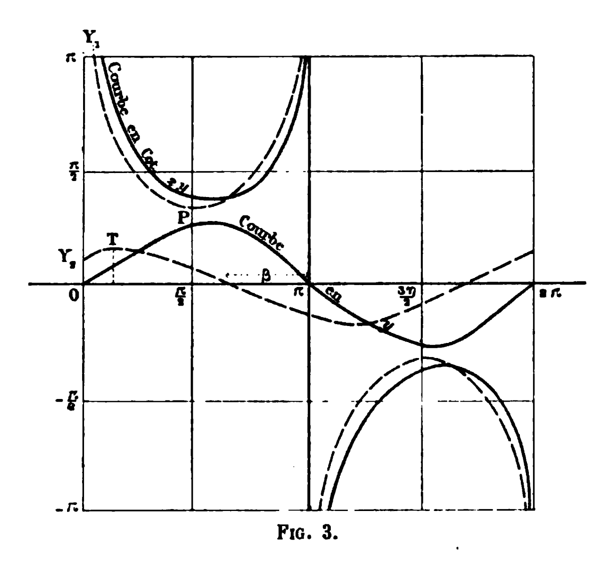


Fig. 3.

La courbe Y_1 est symétrique par rapport à l'ordonnée $x = \frac{\pi}{2}$. La courbe Y_2 ne possède pas en général cette symétrie.

Les valeurs de cotg $2y$ ne passent par l'infini que pour $x = n\pi$.

Elles se reproduisent périodiquement pour $x' = 2n\pi + x$, et cette périodicité existe avec un simple changement de signe de cotg $2y$ pour $x' = n\pi + x$.

Nous ne considérerons donc désormais, dans ce qui suivra, que les valeurs de x variant de 0 à π.

La recherche des maxima de cotg $2y$ revient évidemment à celles des ordonnées au droit desquelles les tangentes aux courbes Y_1 et Y_2 sont également inclinées sur l'axe des x, mais en sens opposé.

En partant de l'équation (3), on trouve :

$$\frac{d \operatorname{cotg} 2y}{dx} = -\mathrm{P}\frac{\cos x}{\sin^2 x} + \mathrm{Q}\cos x - \mathrm{R}\sin x$$

Cette dérivée, égalée à 0, donne dans le cas le plus général une équation du troisième ordre en $\sin^2 x$, qui fournit, pour x variant de 0 à π, trois valeurs correspondant à des maxima ou à des minima de cotg $2y$.

Il est plus commode de la laisser sous la forme suivante :

$$(5)\ \cos x\,(Q \sin^2 x - P) - R \sin^3 x = 0$$

Valeurs y. — Les courbes en y se déduisent des courbes en cotg $2y$. En effet, **la dérivée** $\frac{dy}{dx}$ s'annule avec

$$\frac{d \cot 2y}{dx} = \frac{dY}{dx} = 0$$

On a, en effet,

$$d \operatorname{arc} \cot Y = - \frac{dY}{1 + Y^2}$$

On en déduit que

$$(6)\ \frac{dy}{dx} = \frac{1}{2} \frac{P \cos x - Q \sin^2 x \cos x + R \sin^3 x}{\sin^2 x + (P + Q \sin^2 x + R \sin x \cos x)^2}$$

Suivons maintenant la courbe en y, quand x varie de 0 à π.

Pour $x = 0$, cot $2y$ est infinie et $y = 0$; la tangente à la courbe a pour valeur

$$\frac{dy}{dx} = \frac{P}{2}$$

Puis les valeurs de y croissent en valeur absolue et passent au moins par un maximum ou minimum, et par trois au plus, donnés par l'équation

$$(5)\ \cos x\,(Q \sin^2 x - P) - R \sin^3 x = 0$$

Les valeurs absolues de y ne dépassent 45° que si cotg $2y$ s'annule, c'est-à-dire si l'on peut avoir (équation 2)

$$A + B \sin^2 x = 0$$

$$0 < - \frac{A}{B} < 1$$

Pour

$$x = \frac{\pi}{2} \qquad \operatorname{cotg} 2y = P + Q = \cot 2\theta$$

et

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{2} \frac{R}{1 + (P + Q)^2}$$

Pour

$$x = \pi \quad \cot 2y = \infty \quad y = 0$$

et

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{P}{2}$$

En résumé pour construire les courbes Y_1 et Y_2, il faut d'abord calculer les valeurs A, B, C, D, en fonction des données μ, v et γ.

Courbe Y_1 — On en déduit l'angle α que fait, avec le plan bissecteur de l'angle 2γ, le plan de la zone pour lequel $y = 0$.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{C}{D}$$

Pour achever de tracer approximativement la courbe Y_1, il suffit de calculer son ordonnée minimum égale à P.

$$P = -\frac{A(C^2 + D^2) + B C^2}{(C^2 + D^2)\sqrt{C^2 + D^2}}$$

Courbe Y_2 — Quant à la courbe Y_2, c'est une sinussoïde qui coupe l'axe des x au point $x = \pi - \beta$.

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{2CD}{D^2 - C^2}$$

L'ordonnée maximum de cette sinussoïde est égale à

$$T = \frac{B}{\sqrt{C^2 + D^2}}$$

Ces calculs une fois effectués, il suffit de considérer deux cas généraux :

1° L'ordonnée T est de même signe que l'ordonnée P ; y ne peut passer par aucun maximum ou minimum entre T et P (voir fig. 3) ; mais il peut y avoir deux de ces points entre O et T, et il y a nécessairement un maximum entre P et π.

Il suffit d'enregistrer la variation des angles que font avec

l'horizontale les tangentes aux deux courbes Y_1 et Y_2 pour se rendre compte de ces propriétés.

En effet, en O et T, la tangente à Y_1 fait des angles décroissant de 90° à une certaine valeur ω, tandis que la tangente à Y_2 inclinée en sens contraire varie de φ à 0°. Il peut donc y avoir deux points pour lesquels ces angles sont égaux et de signe contraire; et pour ces deux ordonnées la courbe $Y_1 + Y_2$ aura sa tangente horizontale.

Entre T et P, il y a variation dans le même sens; enfin entre P et π, la tangente à Y_1 varie de 0 à 90°, tandis que celle à Y_2 oscille entre un certain angle ψ et l'angle φ. Il y a donc nécessairement un maximum de y.

2° L'ordonnée T est de signe contraire à P. Pour les mêmes raisons énoncées plus haut, il ne peut y avoir pour y qu'un seul maximum compris entre T et P, et il est nécessaire que ce maximum existe.

Arête de zone comprise dans un plan principal d'élasticité. — Lorsque l'arête de zone est comprise dans un plan principal d'élasticité, on a vu plus haut que l'on peut avoir les cas suivants :

1° Arête comprise dans le plan de la bissectrice et de l'axe moyen

$$\mu = \upsilon \quad D = 0 \quad R = 0$$

2° Arête comprise dans le plan des axes optiques, hors de leur plus petit angle

$$\gamma = 0 \quad D = 0 \quad R = 0$$

3° Arête comprise dans le plan des axes optiques et dans leur plus petit angle

$$\gamma = \frac{\pi}{2} \quad C = 0 \quad R = 0$$

4° Arête comprise dans le plan de la normale optique et de l'axe moyen.

$$\mu + \upsilon = \pi \quad C = 0 \quad R = 0$$



Les équations (3) et (6) se simplifient beaucoup ;

$$(3)\ \cot g\ 2\ y = \frac{P}{\sin x} + Q \sin x$$

$$(6)\ \frac{dy}{dx} = \frac{1}{2} \frac{\cos x\ (P - Q \sin^2 x)}{\sin^2 x + (P + Q \sin^2 x)^2}$$

Toutes les courbes deviennent symétriques par rapport à l'ordonnée $x = \frac{\pi}{2}$ et les maximum ou minimum deviennent facilement calculables.

L'un d'eux correspond à

$$x = \frac{\pi}{2} \quad \text{pour } \cot 2\ y = P + Q$$

Les deux autres sont donnés par

$$(7)\ \sin^2 x = \frac{P}{Q} \quad \text{pour } \cot 2\ y = 2\sqrt{P\ Q}$$

Pour qu'ils existent, il faut et il suffit que

$$0 \gtrless \frac{P}{Q} < 1$$

Prenons maintenant les quatre cas énumérés plus haut.

1° L'arête de zone est comprise dans le plan de la bissectrice et de l'axe d'élasticité moyenne[1].

$$D = 0 \quad \mu = v$$

On déduit des tableaux (page 12).

$$P = \frac{A + B}{C} = \frac{\cos^2 \mu + \sin^2 \mu \cos^2 \gamma}{\sin 2\ \mu \cos \gamma}$$

$$Q = -\frac{B}{C} = -\frac{\sin^2 \mu}{\sin 2\ \mu \cos \gamma}$$

[1] Il convient de suivre les courbes sur la figure 6, page 24.

On peut remplacer les constantes μ et γ par l'angle 2 V des

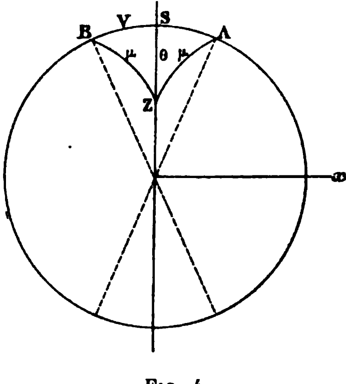


Fig. 4.

axes optiques et l'angle θ d'extinction pour $x = \frac{\pi}{2}$, qui est généralement connu. Dans le triangle rectangle Z B S (fig. 4), on a

$$\cos \mu = \cos V \cos \theta$$

$$\cos \gamma = \frac{\operatorname{tg} \theta}{\operatorname{tg} \mu}$$

Et par définition, on pose

$$\cot 2\theta = P + Q$$

En formant la valeur Q en fonction de θ et de V, on a

$$Q = -\frac{1 - \cos^2 V \cos^2 \theta}{2 \sin \mu \cos \mu \dfrac{\operatorname{tg} \theta}{\operatorname{tg} \mu}} = -\frac{1 - \cos^2 V \cos^2 \theta}{2 \cos^2 \mu \operatorname{tg} \theta}$$

Remplaçant $\cos^2 \mu$ par sa valeur en V et en θ, on trouve enfin

$$Q = -\frac{1 - \cos^2 V \cos^2 \theta}{2 \cos^2 V \cos^2 \theta \operatorname{tg} \theta} = -\frac{1 - \cos^2 V \cos^2 \theta}{\cos^2 V \sin 2\theta}$$

et

$$P = \frac{\cos^2 \theta}{\sin^2 \theta} - Q = \frac{\cos^2 V \cos 2\theta + 1 - \cos^2 V \cos^2 \theta}{\cos^2 V \sin 2\theta}$$

D'où enfin

$$P = \frac{1 - \cos^2 V \sin^2 \theta}{\cos^2 V \sin 2\theta}$$

Les équations fondamentales (3) et (6) deviennent donc :

$$(3)\ \cot 2\,y = \frac{1 - \cos^2 V \sin^2 \theta}{\cos^2 V \sin 2\,\theta}\,\frac{1}{\sin x} - \frac{1 - \cos^2 V \cos^2 \theta}{\cos^2 V \sin 2\,\theta} \sin x$$

$$(6)\ \sin^2 x = -\,\frac{1 - \cos^2 V \sin^2 \theta}{1 - \cos^2 V \cos^2 \theta},\ \text{valeur imaginaire}$$

En effet on a $P > 0$, $Q < 0$. En valeur absolue le rapport $\frac{P}{Q}$ peut prendre toutes les valeurs entre $\frac{1}{\sin^2 V}$ pour $\theta = 0$ et $\sin^2 V$ pour $\theta = \frac{\pi}{2}$.

Il est facile de voir que l'ordonnée $x = V$ joue un rôle important dans les courbes en xy; pour $x = V$

$$\text{cotg}\ 2\,y = \frac{(1 + \sin^2 V) \cos \theta}{2 \sin V \sin \theta}$$

Tandis que θ parcourt toutes les valeurs entre 0 et $\frac{\pi}{2}$, les valeurs de y, le long de cette ordonnée, ne se meuvent donc qu'entre 0 et $\frac{\pi}{4}$. A la limite, pour $\theta = \frac{\pi}{2}$, y reste égal à 0 quand x varie entre 0 et V; pour $x = V$, il y a indétermination[1] et, quand x varie de V à $\frac{\pi}{2}$, y reste égal à $\frac{\pi}{2}$.

L'étude de l'enveloppe des courbes en xy confirme ce fait; elle est tangente à l'ordonnée $x = V$ au point $y = \frac{\pi}{4}$.

2° L'arête de zone est comprise dans le plan des axes optiques hors de leur plus petit angle.

On a $\gamma = 0$ et $D = 0$, $R = 0$

On déduit d'ailleurs des tableaux (p. 12).

$$P = \frac{A + B}{C} = \frac{\cos \mu \cos v}{\sin (\mu + v)}$$

$$Q = -\,\frac{B}{C} = -\,\frac{\sin \mu \sin v}{\sin (\mu + v)}$$

Pour remplacer les constantes μ et v par leurs valeurs en fonction de V et θ, il suffit de remarquer ici que l'on a

$$\mu - v = 2\,V \quad \text{et} \quad \mu + v = 2\,\theta$$

D'où $\mu = \theta + V$ et $v = \theta - V$

[1] Le plan de la zone est en effet à ce moment perpendiculaire à un axe optique.

et
$$P = \frac{\cos(\theta + V)\cos(\theta - V)}{\sin 2\theta}$$
$$Q = -\frac{\sin(\theta + V)\sin(\theta - V)}{\sin 2\theta}$$

Les équations fondamentales (3) et (6) deviennent :

$$(3)\quad \cot g\, 2y = \frac{\cos(\theta + V)\cos(\theta - V)}{\sin 2\theta}\frac{1}{\sin x} - \frac{\sin(\theta + V)\sin(\theta - V)}{\sin 2\theta}\sin x$$

$$(6)\quad \sin^2 x = -\cot(\theta + V)\cot(\theta - V)$$

L'angle θ peut varier de V à $\frac{\pi}{2}$; cot $(\theta - V)$ est toujours positive; quant à cot $(\theta + V)$, il faut poser $(\theta + V) > \frac{\pi}{2}$ pour lui donner une valeur négative, et pour que les racines en $\sin^2 x$ ne soient pas imaginaires.

Premier cas. — Dès lors, il convient de considérer d'abord le cas où l'on a $\theta + V > \frac{\pi}{2}$, c'est-à-dire celui où l'arête de zone est comprise entre la normale optique et la trace d'une section cyclique.

Pour qu'il y ait maximum ou minimum de y, en dehors de la solution $x = \frac{\pi}{2}$, il est en outre nécessaire que le produit $-\cot(\theta + V)\cot(\theta - V)$ soit, en valeur absolue, inférieur à l'unité ; en le mettant sous la forme

$$-\frac{\cos 2V + \cos 2\theta}{\cos 2V - \cos 2\theta}$$

on met en évidence que cette condition est toujours remplie, cos 2 V étant toujours plus grand et cos 2 θ étant toujours plus petit que *o*.

Lorsque θ varie de $\frac{\pi}{2}$ à $\frac{\pi}{2} - V$, le rapport $\frac{P}{Q}$ varie de $\text{tg}^2 V$ à 0. Pour $\theta = \frac{\pi}{2}$, P et Q, toujours négatifs, sont infinis, il y a tendance à la naissance d'un maximum pour $\sin x = \text{tg } V$ et cot 2 y restant infinie pour toutes les valeurs de x, y reste constamment égal à $-\frac{\pi}{2}$.

Lorsque θ est égal à $\frac{\pi}{2} - V$, on a $P = 0$,

$$Q = -\frac{\cos 2V}{\sin 2V} = -\cot 2V \quad \text{et} \cot 2y = -\cot 2V \sin x$$

Mais pour la valeur $x = 0$, P au lieu de s'annuler devient indéterminé et égal à $\frac{0}{\infty}$, en même temps que Q sin x s'annule ; la courbe en xy comprend donc la valeur $y = -\frac{\pi}{4}$ qui est un maximum, et toute l'ordonnée $x = 0$; on est, en effet, dans cette position particulière du plan de zone, perpendiculaire à un axe optique.

Deuxième cas. — Si θ varie de $\frac{\pi}{2} - V$ à V, P devient positif, tandis que Q reste négatif. En dehors de $x = \frac{\pi}{2}$ il n'y a plus de maximum ni de minimum pour y. P varie de 0 à cot 2 V et Q de — cot 2 V à 0.

Pour $\theta = V$, on a $\cot 2\,y = \operatorname{cotg} 2\,V \frac{1}{\sin x}$.

Une partie des courbes donne donc à cotg 2 y une valeur nulle correspondant à $y = 45°$. Il y a en général deux points d'inflexion et un coude assez brusque pour les valeurs de x voisines de 0°.

3° **L'arête de zone est comprise dans le plan des axes optiques, dans leur plus petit angle.**

On a $\gamma = \frac{\pi}{2}$, $C = 0$.

On déduit des tableaux (p. 12) :

$$P = \frac{A}{D} = \frac{\cos\mu \cos v}{\sin(\mu - v)}$$

$$Q = \frac{B}{D} = \frac{\sin\mu \sin v}{\sin(\mu - v)}$$

Pour remplacer μ et v par leurs valeurs en fonction de V et θ, on remarque que l'on a :

$$\mu + v = 2\,V \quad \text{et } \mu - v = 2\,\theta$$

$$\mu = V + \theta \qquad v = V - \theta$$

D'où

$$P = \frac{\cos(V + \theta)\cos(V - \theta)}{\sin 2\,\theta}$$

$$Q = \frac{\sin(V + \theta)\sin(V - \theta)}{\sin 2\,\theta}$$

Les équations fondamentales sont encore ici analogues, aux signes près, à celles du paragraphe 2.

$$(3) \quad \cot 2y = \frac{\cos(V+\theta)\cos(V-\theta)}{\sin 2\theta}\frac{1}{\sin x} + \frac{\sin(V+\theta)\sin(V-\theta)}{\sin 2\theta}\sin x$$

$$(6) \quad \sin^2 x = \cot(V+\theta)\cot(V-\theta)$$

P et Q sont toujours positifs, mais le rapport $\frac{P}{Q}$ est toujours plus petit que l'unité. Car on peut le mettre sous la forme $\frac{\cos 2V + \cos 2\theta}{\cos 2\theta - \cos 2V}$, avec $\cos 2V$ et $\cos 2\theta$ plus grands que 0.

L'angle θ peut varier de V à 0° ; P variera donc de la valeur cot. 2 V à ∞ et Q de 0 à ∞.

4° L'arête de zone est comprise dans le plan de la normale optique et de l'axe d'élasticité moyenne.

On a $\mu + v = \pi$ $\qquad C = 0.$

$$P = \frac{A}{D} = \frac{-\cos^2 v - \sin^2 v \cos^2 \gamma}{-\sin 2v \sin \gamma}$$

$$Q = \frac{B}{D} = \frac{\sin^2 v}{-\sin 2v \sin \gamma}$$

Pour remplacer les constantes v et γ par leurs valeurs en fonction

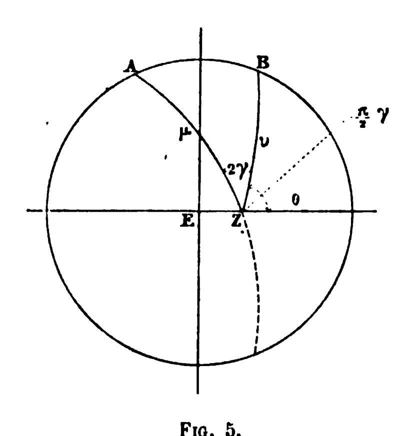


Fig. 5.

de θ et V, on remarquera que, dans le triangle rectangle BZN, l'on a (fig. 5) :

$$\cos v = \sin V \cos \theta$$

$$\sin \gamma = \frac{\operatorname{tg} \theta}{\operatorname{tg} v}$$

On a donc

$$Q = -\frac{1 - \cos^2\theta \sin^2 V}{2 \sin v \cos v \dfrac{\operatorname{tg}\theta}{\operatorname{tg} v}} = -\frac{1 - \cos^2\theta \sin^2 V}{2 \cos^2 v \operatorname{tg}\theta}$$

Ou enfin

$$Q = -\frac{1 - \cos^2\theta \sin^2 V}{2 \sin^2 V \cos^2\theta \operatorname{tg}\theta} = -\frac{1 - \cos^2\theta \sin^2 V}{\sin^2 V \sin 2\theta}$$

On formerait de même

$$P = \frac{1 - \sin^2\theta \sin^2 V}{\sin^2 V \sin 2\theta}$$

Dès lors, P et Q ont la même valeur et les mêmes signes opposés que dans le cas n° 1 (p. 18), avec cette unique différence que $\cos^2 V$ est remplacé par $\sin^2 V$. Les courbes sont donc ici de même nature. L'ordonnée $x = \frac{\pi}{2} - V$ remplit le rôle que remplissait l'ordonnée $x = V$.

Résumé. — Les calculs qui précèdent nous donnent, dans le cas le plus général, une notion approximative des diverses valeurs que prend l'angle d'extinction rapportée à l'arête de zone, dans une série de plans passant tous par cette arête.

Dans le cas où l'arête de zone est contenue dans un plan principal d'élasticité, on peut tracer exactement la courbe des extinctions, quand on connaît l'angle d'extinction initial (section parallèle au plan principal d'élasticité) et l'angle 2 V des axes optiques.

Si nous rapprochons (fig. 6) l'une de l'autre les courbes étudiées, nous obtenons un dessin qui permet en effet de prévoir comment se comportera la zone étudiée ; les applications pratiques aux minéraux monocliniques sont nombreuses et seront développées plus loin.

Appelons (fig. 6) *a* l'arête de zone, *b* la bissectrice aiguë, *n* la bissectrice obtuse ou normale optique, *e* l'axe d'élasticité moyenne.

L'un des axes optiques A est situé dans le quadrant *bOn* qui

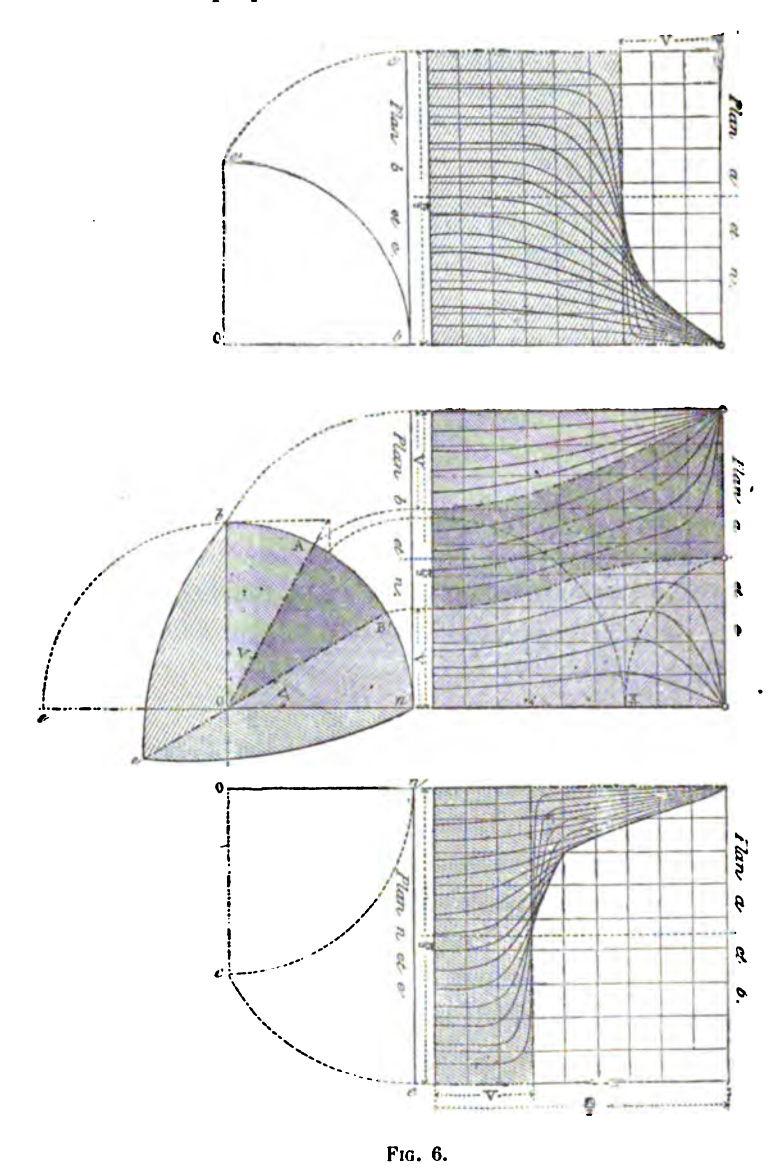


Fig. 6.

contiendra la perpendiculaire B' au deuxième axe optique. Si nous désignons par 2 V l'écartement réel de ces axes, nous aurons :

$$V = bA = nB'$$

Supposons :

I. **L'arête de zone contenue dans le plan *nb* des axes optiques.** Le plan mobile de la zone pivotera autour de cette arête et nous appelons x l'angle de ce plan avec le plan *nb*. Évidemment pour $x = \frac{\pi}{2}$, le plan de zone contient l'axe d'élasticité moyenne.

Développons le quadrant *nb* sur l'axe des y, l'ordonnée y mesurant l'angle d'extinction de chaque section, mesuré à partir de l'arête à laquelle la zone est parallèle.

Au fur et à mesure que l'arête de zone occupera les diverses positions possibles dans le quadrant *nb*, les courbes en xy se modifieront et ne dépendront, pour V constant, que de la valeur initiale θ de l'angle d'extinction. Or cette valeur nous est connue; car, pour $x = 0$, le plan mobile coïncide avec *nb*, et l'extinction s'y fait suivant *n* et *b*. Il suffit donc de développer sur l'origine l'arc *na;* son complément est égal à *ab*.

Toutes les courbes ont leur tangente horizontale au point de départ, pour $x = 0$, $y = \theta$. Elles sont symétriques par rapport à l'axe des y; et les points $x = \frac{\pi}{2}$, $y = 0$ et $y = \frac{\pi}{2}$ leur servent de centres. Il suffit donc de construire les courbes entre les deux valeurs $x = 0$, $x = \frac{\pi}{2}$.

1° Tant que l'arête de zone est comprise dans l'angle nB', θ est un minimum, puis la courbe s'élève pour passer par un maximun inférieur à 45° et retomber ensuite à 0° quand $x = \frac{\pi}{2}$.

2° Quand l'arête de zone se confond avec B', le maximum précédent est égal à $\frac{\pi}{4}$ et correspond à $x = \frac{\pi}{2}$. En même temps et pour cette même valeur de x, il y a indétermination, de telle sorte que la droite $x = \frac{\pi}{2}$ fait partie de la courbe. En effet à ce moment le plan de zone passe par B' et *e*, c'est-à-dire par une section cyclique.

3° Quand l'arête de zone est comprise dans l'angle B'*b*, θ est un minimum et la courbe croît constamment jusqu'à la valeur $y = \frac{\pi}{2}$ pour $x = \frac{\pi}{2}$.

II. **L'arête de zone est contenue dans le plan de la bissectrice et de l'axe d'élasticité moyenne.** — Le plan de zone est supposé coïn-

cider à l'origine avec le plan principal d'élasticité *be*. On y connaît l'extinction initiale θ qui se fait suivant *b* ou *e*. Supposons la rapportée à la bissectrice; θ est alors un maximun et la courbe décroît, sans passer par un nouveau maximum ou minimum, jusqu'à $y = 0$ pour $x = \frac{\pi}{2}$.

La droite $x = \frac{\pi}{2} - V$ joue un rôle important dans le tracé des courbes en xy, toutes la coupent au-dessous du point $y = \frac{\pi}{4}$ et à partir de ce point les courbes présentent une enveloppe jusqu'au point $x = \frac{\pi}{2}$, $y = 0$.

Lorsque l'arête de zone coïncide presque avec l'axe d'élasticité moyenne, on voit que la courbe est presque composée de segments de droites, $y = \frac{\pi}{2}$, $x = \frac{\pi}{2} - V$, $y = 0$. En effet, dans ce cas particulier, pour $x = \frac{\pi}{2} - V$, le plan de la zone est perpendiculaire à un axe optique.

III. **L'arête de zone est contenue dans le plan de la normale optique et de l'axe d'élasticité moyenne.** — Si l'on remplace la bissectrice par la normale optique, tout se passe comme dans le cas précédent; la droite $x = \frac{\pi}{2} - V$ est remplacée par $x = V$.

Directions d'extinction des vibrations ordinaires et extraordinaires dans une zone. — Dans ce qui précède, on remarquera que nous n'avons pas changé l'origine des y. Les angles d'extinction ont toujours été rapportés à l'angle fait par l'arête de zone avec la trace du plan bissecteur des plans passant par la normale à la section et les axes optiques, dans l'angle qui contient la bissectrice aiguë des axes optiques.

Les angles y désignent donc les directions d'extinction, par rapport à l'arête de zone, des vibrations dites *extraordinaires* dans chaque section. On sait que ces vibrations correspondent au plus grand axe n'_g de l'ellipse (E'), quand le minéral est positif, c'est-à-dire quand la bissectrice de l'angle aigu des axes optiques coïncide avec l'axe n_g de l'ellipsoïde (E), et inversement.

Il en résulte quelques conséquences pratiques intéressantes. Quand le maximum d'extinction d'une zone n'atteint pas $\frac{\pi}{4}$, les diverses sections allongées du minéral agissent dans le même

sens, suivant cet allongement, sur une lame de quartz sensible; on peut dire, dans une certaine acception, que la zone est positive ou négative.

Si la courbe en y présente au contraire des valeurs plus petites et plus grandes que $\frac{\pi}{4}$, une partie des sections agira dans un sens et une partie dans le sens contraire.

Dans la recherche du sens d'une zone, qu'il convient toujours de rapporter à la série des plus petites extinctions possibles au voisinage de l'arête de zone, on devra se rappeler que la courbe en y, afférente aux vibrations extraordinaires, est accompagnée d'une courbe en y' afférente aux vibrations ordinaires et telle que, en valeur absolue, on ait

$$y + y = \frac{\pi}{2}$$

Si donc les valeurs y ou y' sont toujours plus grandes ou plus petites que π, la zone a un signe constant, et il suffit de se rendre compte de ce signe pour une des sections, commodément choisie, de la zone. On projette sur cette section les axes optiques et la bissectrice aiguë n_g ou n_p ; si l'arête de zone tombe dans le même angle (fait par les projections des axes optiques) que la bissectrice, la zone est de même signe que cette dernière et par conséquent que le cristal étudié ; sinon la zone est de signe contraire.

Intensités lumineuses des diverses sections d'une zone. — On sait que l'intensité lumineuse maximum, présentée en lumière monochromatique par une section quelconque entre les nicols croisés, est proportionnelle à $\sin^2 \pi \frac{O\text{-}E}{\lambda}$; si l'on néglige la dispersion, la coloration d'une pareille section ne dépendra que de la valeur O — E. En prenant, pour l'épaisseur de la plaque, l'unité, on a

$$O - E = n'_g - n'_p$$

différence des axes de l'ellipse (E').

Or la loi des sinus, découverte par Biot et théoriquement développée et confirmée par Fresnel [1], établit les relations suivantes

[1] *Œuvres complètes*, II, 293.

entre cette différence, celle du plus grand et du plus petit axe de l'ellipsoïde (E), et les sinus des angles m et p faits par la normale à la section avec les axes optiques A et B (fig. 2, p. 10) :

$$\frac{1}{n'^2_p} - \frac{1}{n'^2_g} = \left(\frac{1}{n_p^2} - \frac{1}{n_g^2}\right) \sin m \sin p$$

Si l'on suppose la biréfringence faible, ce qui est presque toujours vérifié, on peut simplifier la formule précédente, en suivant une indication donnée par Fresnel[1], et poser

$$(\text{O-E}) = (n'_g - n'_p) = (n_g - n_p) \sin m \sin p$$

Etant données les diverses sections d'une zone afférente à un minéral déterminé, n_g-n_p reste constant ; il s'agit d'étudier les diverses valeurs du produit sin m sin p, tandis que la normale aux divers plans de section décrit un plan perpendiculaire à l'arête de zone.

Dans le triangle sphérique ANZ (fig. 2), on a

$$\text{NZ} = 90^\circ,\ \text{AN} = m,\ \text{AZ} = \mu$$
$$\text{angle ANZ} = \varphi$$
$$\sin m = \frac{\cos \mu}{\cos \varphi}$$

De même dans le triangle BNZ

$$\sin \varphi = \frac{\cos v}{\cos \varphi'}$$

Donc le produit

$$\sin m \sin p = \frac{\cos \mu \cos v}{\cos \varphi \cos \varphi'} = \frac{2 \cos \mu \cos v}{\cos (\varphi + \varphi') + \cos (\varphi - \varphi')}$$

Nous avons déjà posé

$$\text{AZB} = 2\,\gamma\,;$$

prenons

$$\text{ANB} = 2\,\gamma' = \varphi' - \varphi$$

et remarquons que $\frac{\varphi + \varphi'}{2}$ est égal à l'angle d'extinction, c'est-à-

[1] *L. c.*, II, 300. — MALLARD. *Cristallographie*, II, 116.

dire à l'ordonnée y des courbes précédemment trouvées pour les zones.

$$y = \frac{\varphi + \varphi'}{2}$$

Il vient donc :

(9) $$\sin m \sin p = \frac{2 \cos \mu \cos \nu}{\cos 2 \gamma' + \cos 2 y}$$

Il reste à remplacer $\cos 2 \gamma'$, en fonction des autres données du problème. Or dans le triangle sphérique ANB, on a une relation entre les trois côtés m, p, $2 V$ et l'angle $ANB = 2 \gamma'$.

(10) $$\cos 2 V = \cos m \cos p + \sin m \sin p \cos 2 \gamma'$$

Enfin dans les triangles rectangles A*a*Z, B*b*Z (fig. 2), on trouve

$$\cos m = \sin \mu \sin (x + \gamma)$$
$$\cos p = \sin \nu \sin (x - \gamma)$$

D'où

$$\cos m \cos p = \sin \mu \sin \nu (\sin^2 x - \sin^2 \gamma)$$

En introduisant cette valeur dans l'équation (10), on en déduit $\cos 2 \gamma'$ en fonction de μ, ν, x, γ et V.

$$\cos 2 \gamma' = \frac{\cos 2 V - \sin \mu \sin \nu (\sin^2 x - \sin^2 \gamma)}{\sin m \sin p}$$

Portant cette valeur dans (9), on obtient:

$$\sin m \sin p = \frac{2 \cos \mu \cos \nu + \sin \mu \sin \nu (\sin^2 x - \sin^2 \gamma) - \cos 2 V}{\cos 2 y}$$

Dans le triangle Z A B, on a

$$\cos 2 V = \cos \mu \cos \nu + \sin \mu \sin \nu \cos 2 \gamma$$

Il vient donc enfin :

(11) $$\sin m \sin p = \frac{(\cos \mu \cos \nu - \sin \mu \sin \nu \cos^2 \gamma) + (\sin \mu \sin \nu) \sin^2 x}{\cos 2 y}$$

Si l'on compare cette valeur, à celle de cotg 2 Y, en fonction de

x (équation (2), p. 11), on voit que les deux numérateurs sont les mêmes ;

$$\sin m \sin p = \frac{A + B \sin^2 x}{\cos 2 y}$$

$$\operatorname{cotg} 2 y = \frac{A + B \sin^2 x}{C \cos x - D \sin x}$$

et on en déduit :

(12) $$\sin^2 m \sin^2 p = (A + B \sin^2 x)^2 + (C \cos x - D \sin x)^2$$

Dans les plaques très minces, avec des minéraux peu biréfringents, cette valeur est sensiblement proportionnelle à l'intensité lumineuse maxima des diverses sections de la zone.

Dans tous les cas, elle permet de calculer O—E pour chaque section de la zone, et comme $\sin x \cos x$ est un facteur commun de tous les termes de la dérivée $\frac{d \sin^2 m \sin^2 p}{dx}$, (O—E) passe par un maximum ou un minimum pour $x = 0$ et $x = \frac{\pi}{2}$.

Nous ne retiendrons de la discussion générale, qui se simplifie beaucoup pour $C = 0$ ou $D = 0$, que ce fait intéressant, parce qu'il présente des applications pratiques. Quand l'arête de zone coïncide avec le plan des axes optiques, O—E passe par le maximum absolu $n_g - n_p$, toutes les fois que le plan de zone est parallèle au plan des axes optiques ; or on a vu que cette orientation correspond, dans un grand nombre de cas, avec l'extinction la plus éloignée de l'arête de zone, c'est-à-dire avec un maximum de y.

Applications. Minéraux appartenant au système monoclinique. — Orthose. — La direction d'allongement des microlithes d'orthose se produit suivant l'arête pg^1, intersection des deux clivages faciles.

La macle de Carlsbad, si fréquente dans l'orthose, avec face d'association g^1 (010) et axe de rotation h^1g^1 (100) (010), donne une importance spéciale à la zone h^1g^1 ; cette dernière est en effet immédiatement reconnaissable à ce que toutes les sections qui lui appartiennent, s'éteignent symétriquement de part et d'autre de la ligne de macle.

Les travaux de M. Des Cloizeaux permettent de fixer avec précision la position des axes de l'ellipsoïde (E) dans l'orthose. La bissectrice négative n_p est toujours située dans le plan de symé-

trie g^1, à environ 5° de l'arête pg^1, dans l'angle obtus $\frac{pg^1}{h^1g^1} = 116°7'$. L'arête h^1g^1 fait donc avec la bissectrice un angle de 69°. Dans les variétés d'orthose non déformé, la normale optique coïncide avec l'orthodiagonale ; dans les variétés très déformées, elle passe dans le plan de symétrie.

La majeure partie des orthoses des roches n'est par déformée ; 2V = 70°

Orthose non déformé. Zone pg^1 (001) (010). — L'arête de zone est située dans le plan de la bissectrice et de l'axe d'élasticité moyenne. L'angle d'extinction initial est de 5°, rapporté à la bis-

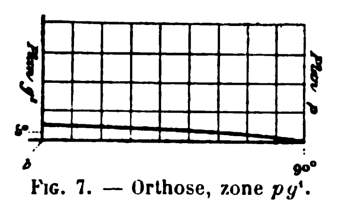


FIG. 7. — Orthose, zone pg^1.

sectrice [1], pour la section de zone coïncidant avec le plan g^1. Il descendra graduellement à 0° (plan de section h^1). Les extinctions se feront donc toujours à peu près suivant la longueur ; elles sont rapportées à la vibration extraordinaire ; la zone est par suite négative, comme la bissectrice (fig. 7).

Zone h^1g^1 (100) (010). — L'arête de zone fait avec la bissectrice

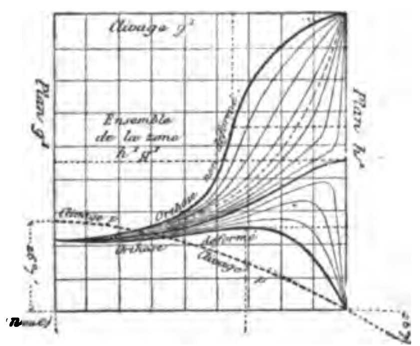


FIG. 8. — Orthose, zone, h^1g^1.

un angle de 69° dans le plan de l'axe d'élasticité moyenne ; les extinctions des vibrations extraordinaires partiront d'un maxi-

[1] Il convient de se reporter à la figure 6 pour tous les exemples qui vont suivre.

mum de 69° dans le plan g^1 et s'abaisseront graduellement jusqu'à 0° pour la section h^1. Elles présenteront donc toutes les valeurs possibles (fig. 8).

Orthose déformé. Zone pg^1 (001) (010). — L'arête de zone est comprise dans le plan des axes optiques, à 5° de la bissectrice. Les extinctions se feront donc de 5° à 0°; la zone sera négative; elle comprendra la section g^1 pour laquelle la biréfringence passe par le maximum $n_g - n_p$.

Zone h^1g^1 (100) (010). — Ici les données peuvent être fort différentes, suivant l'ouverture de l'angle 2V dans le plan g^1. A la limite, l'arête h^1g^1 peut faire avec un des axes optiques un angle plus grand que 60°. Alors l'extinction initiale dans g^1, qui est de 69° pour la vibration extraordinaire. peut être un maximum relatif; puis elle s'abaissera jusqu'à un minimum voisin de 45° et remontera ensuite jusqu'à 90° dans le plan h^1.

Il est plus commode dans cette zone de rapporter les extinctions aux vibrations ordinaires; les angles sont alors complémentaires des précédents : dans g^1, minimum relatif de 21°, puis maximum absolu voisin de 45° et pour h^1, descente à 0°. La zone est alors positive (fig. 8).

Si l'on mesure l'angle compris entre les extinctions symétriques

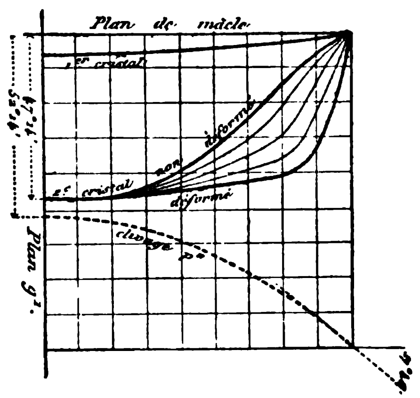


Fig. 9. — Macle de Carlsbad zone pg^1.

de deux cristaux maclés suivant la loi de Carlsbad, il convient de doubler les nombres précédents. La fig. 9 rend compte de la même macle dans la zone pg^1.

Pyroxène. — L'exemple, qui précède, suffit pour faire saisir l'application aux minéraux monocliniques des zones d'extinction principales. Nous nous contenterons, dans ce qui suit, d'énumérer les résultats pratiques obtenus.

Le pyroxène présente une zone d'allongement très marquée suivant *mm* (110) ($1\bar{1}0$). Plus l'association minérale à laquelle il appartient est acide, plus cet allongement est caractérisé; les microlithes de pyroxène des phonolithes (acmite, œgyrine) et des andésites sont beaucoup plus allongés que ceux des labradorites et des basaltes. Cette zone d'allongement est en outre reconnaissable à ce que les traces des deux clivages faciles *mm* sur les sections de zone sont parallèles entre elles.

La macle suivant h^1, avec axe de rotation perpendiculaire, donne des extinctions symétriques de part et d'autre de la ligne de macle dans deux zones, l'une passant par la perpendiculaire à h^1 située dans le plan de symétrie et par conséquent perpendiculaire dans ce plan à h^1g^1 ; l'autre passant par l'arête h^1g^1.

Zone mm (110) ($1\bar{1}0$). — Maximum des extinctions 39°[1], dans le plan g^1, pour O — E maximum, égal à $n_g - n_p$. Puis décroissance continue jusqu'à 0°, dans le plan h^1. La zone, rapportée aux vibrations extraordinaires, est positive.

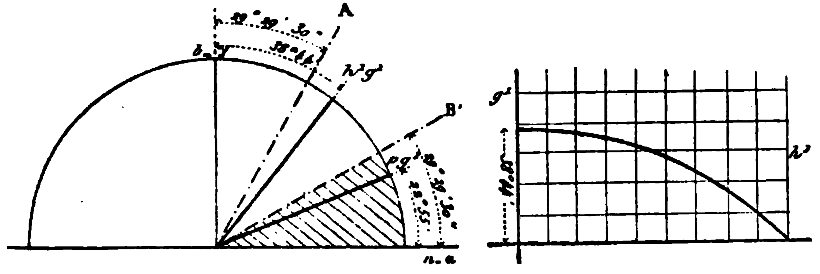


Fig. 10. — Position des arêtes de zone du pyroxène.

Fig. 11. — Pyroxène, zone *mm*.

Zone perpendiculaire à h^1 (100). — Rapportée à l'arête de zone ou à sa perpendiculaire qui est la trace de la face d'association, cette zone passe par toutes les valeurs possibles : maximum, 51°; minimum 0°.

[1] Dans les pyroxènes les plus nombreux.

Amphibole. — Les mêmes remarques que pour le pyroxène s'appliquent aux zones importantes de l'amphibole; les angles seuls sont changés[1].

Zone mm (110) (1$\bar{1}$0). — Maximum de 3° (hornblende, glauco-

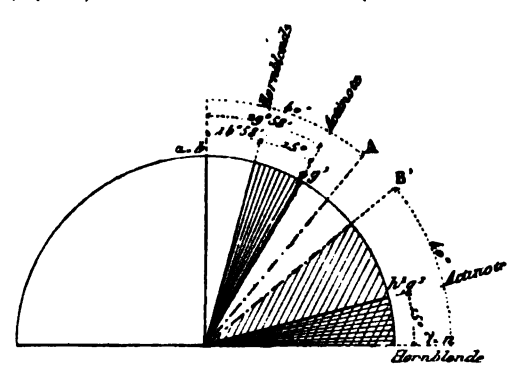


Fig. 12. — Amphibole ; position des arêtes de zone.

phane) à 19° (actinote). Les extinctions, rapportées ici aux vibrations ordinaires, donnent encore une zone positive; O — E maximum pour g^1 et égal à $n_g - n_p$, coïncide avec une extinction voisine du maximum.

Zone perpendiculaire à h^1 (100). — Elle oscille entre un maximum de 3 à 18°, coïncidant avec g^1, et 0°. Rapportée à la trace de la macle qui est perpendiculaire à l'arête de zone, cette série est positive et les directions d'extinction coïncident encore avec les vibrations ordinaires.

Les angles d'extinction du pyroxène et de l'amphibole sont un des meilleurs caractères qui permettent de distinguer, l'un de l'autre, ces deux minéraux en plaque mince.

Wollastonite. — La zone d'allongement, parallèle aux clivages faciles, est ph^1 (001) (100). Elle est donc parallèle à l'axe d'élasticité moyenne et s'éteint constamment suivant la longueur. Elle comprend les sections cycliques; la zone n'a donc pas de signe constant; les sections, voisines de *p* (001), sont positives suivant leur longueur et l'extinction y est rapportée à la vibration ordinaire;

[1] En général le pyroxène des phonolites est riche en soude

les extinctions, voisines de h^1 (100), sont négatives et rapportées à la vibration extraordinaire.

Épidote. — Les mêmes résultats s'appliquent identiquement à l'épidote dont la zone d'allongement, très marquée, est également parallèle à ph^1 (001) (100) et par conséquent à l'axe d'élasticité moyenne.

Minéraux tricliniques. — Disthène. — La zone d'allongement est parallèle à l'arête *mt* $(1\bar{1}0)$ (110), et comme le plan de la normale optique (positive) et de l'axe d'élasticité moyenne coïncide sensiblement avec h^1 (100), l'arête de zone est encore située dans un plan principal d'élasticité. Les extinctions se feront de 30° (face h^1) à 0° et la zone, rapportée aux vibrations ordinaires, sera positive.

Feldspaths tricliniques. — Les zones intéressantes sont la zone d'allongement pg^1 (001) (010) et la zone perpendiculaire à g^1 (010), qui coïncide exactement avec l'axe de rotation de la macle suivant la loi de l'albite, et approximativement avec celui de la macle suivant la loi de la péricline. Cette dernière zone est en outre parfois une zone d'aplatissement très marqué (labrador et anorthite des basaltes).

On reconnaît les sections, appartenant à la première zone, au parallélisme des clivages faciles et des lignes de macle avec l'allongement souvent très marqué, et transformant par exemple en véritables aiguilles les microlithes feldspathiques de fusion purement ignée.

La zone perpendiculaire à g^1 se décèle par l'extinction symétrique de lamelles hémitropes, de part et d'autre de la ligne de macle.

Les données optiques relatives aux axes principaux d'élasticité des divers feldspaths tricliniques sont encore trop incomplètes et trop variables pour qu'on puisse traiter le sujet au point de vue purement théorique. Voici les résultats pratiques ressortant de nombreuses mesures :

Zone pg^1

Microcline, zone négative, de 0° à 15°.
Albite, zone négative, de 0° à 20°.
Oligoclase et andésine, zone négative, de 0° à quelques degrés.
Labrador, zone négative, de 0° à 31°.
Anorthite, signe variable, de 0° au delà de 45°.

Zone perpendiculaire à g^1. — Extinctions rapportées à la ligne de la macle suivant la loi de l'albite :

Microcline, zone négative, de 0° à 18°.
Albite, zone négative, de 0° à 18°.
Oligoclase, zone négative, de 0° à 12°.
Andésine, zone négative, de 0° à 21°.
Labrador, zone négative, de 0° à 32°.
Anorthite, signe variable, de 0° au delà de 45°.

Pour obtenir les angles maxima compris entre deux extinctions de même signe de deux séries de lamelles hémitropes juxtaposées, il convient de doubler les nombres précédents.

On peut chercher, si l'on admet la loi de M. Tschermak, quelles en sont les conséquences théoriques au point de vue des zones intéressantes des feldspaths tricliniques compris entre l'albite et l'anorthite.

Les données numériques de M. Des Cloizeaux permettent de fixer approximativement la position des trois axes n_g, n_m, n_p dans l'albite, dans les variétés intermédiaires entre l'oligoclase et l'andésine, et dans le labrador. On peut dès lors tracer approximativement les courbes d'extinction en x y pour ces divers feldspaths, et y ajouter hypothétiquement celles de l'anorthite, en s'aidant des angles d'extinction connus dans les faces p et g^1 et en tenant compte de leurs signes, conformément aux données de M. Max Schuster[1] (fig. 13 et 14).

Si les feldspaths, intermédiaires entre l'albite et l'anorthite, sont des mélanges mécaniques des deux termes extrêmes, sur chaque ordonnée $x = c$, les courbes se succéderont régulièrement, à mesure que l'on supposera la quantité d'un des éléments s'accroissant régulièrement par rapport à celle de l'autre[2]. Quand x parcourra les valeurs entre o et π, les courbes se couperont toutes en un même point unique, et nous avons vu (p. 13) que chacune d'elles ne coupera qu'une seule fois l'axe des x.

Zone pg^1 (001) (010). — Une première particularité se présente à nous pour ce faisceau de courbes ; d'après M. Max Schuster,

[1] Max Schuster. *Tsch. min. petr. Mittheil.* III, 117.
[2] Cs. Mallard, *B. S. M.*, 1881, t. IV, 100.

certains feldspaths intermédiaires entre l'oligoclase et l'andésine [1] s'éteignent à 0° dans les faces p et g^1. Dès lors, l'axe d'élasticité n_p coïncide nécessairement avec l'arête pg^1, et toutes les sec-

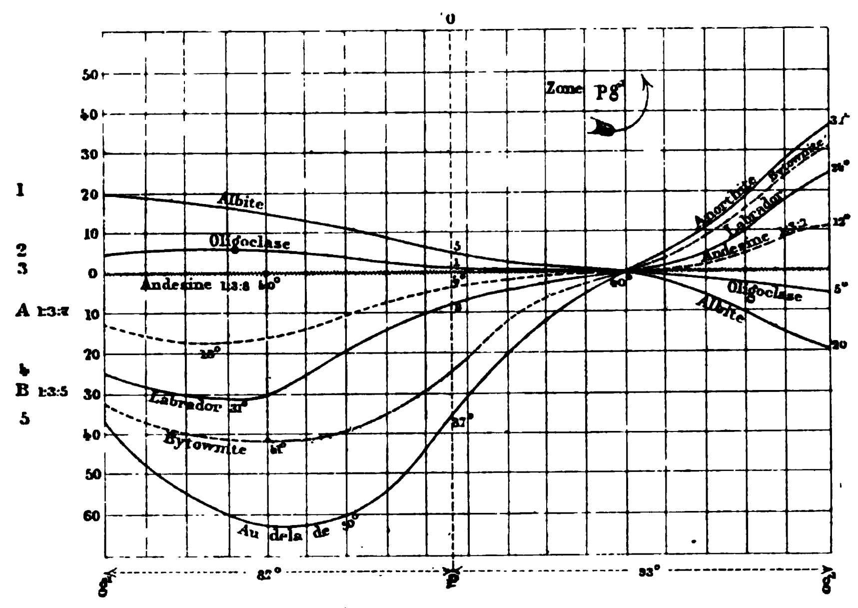


Fig. 13. — Zone pg^1, à partir de g^1, en parcourant d'abord l'angle pg^1 aigu, dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

tions de la zone pg^1 s'éteindront longitudinalement; ce fait s'accorde avec l'étude des microlithes feldspathiques de nombreuses andésites; l'observation montre en effet que ces microlithes s'éteignent tous sensiblement suivant leur longueur.

Mais il entraîne comme conséquence nécessaire que toutes les courbes doivent se couper en un point unique situé sur l'axe des x; en d'autres termes, pour un certain plan de la zone pg^1 que l'épure montre situé dans l'angle obtus pg^1, à environ 40° de p, tous les feldspaths tricliniques, sauf le microcline, doivent s'éteindre suivant l'arête pg^1, et l'extinction doit être rapportée à la vibration négative.

[1] Ce feldspath aurait pour formule : $Ab_7\ An_3$, c'est-à-dire : $3\,(Ca^2\,Al^2\,Al^2\,Si^4\,O^{16}) + 7\,(Na^2\,Al^2\,Si^2\,Si^4\,O^{16})$. Mais le fait que les extinctions à 0° de l'arête pg^1 pour les deux faces p et g^1, exige la coïncidence de l'arête pg^1 avec l'axe principal d'élasticité n_p, paraît avoir échappé à M. Max Schuster, dont l'épure est inexacte. (Voir le chapitre des *Feldspaths tricliniques* dans la deuxième partie).

On voit d'ailleurs que, quand on ne pourra pas se rendre compte du signe des maxima, ces derniers procureront cependant encore la distinction nette de l'oligoclase, du labrador et de l'anorthite. La confusion ne pourra exister qu'entre les variétés intermédiaires : andésine et oligoclase-albite. Les expériences de fusion ignée que nous avons poursuivies, M. Fouqué et moi, prouvent que les variétés oligoclase-albite ne se produisent pas, tout au moins facilement, par fusion purement ignée.

Zone perpendiculaire à g^1 (010). — Le point d'intersection commun du faisceau de courbes (fig. 14) est ici encore voisin de

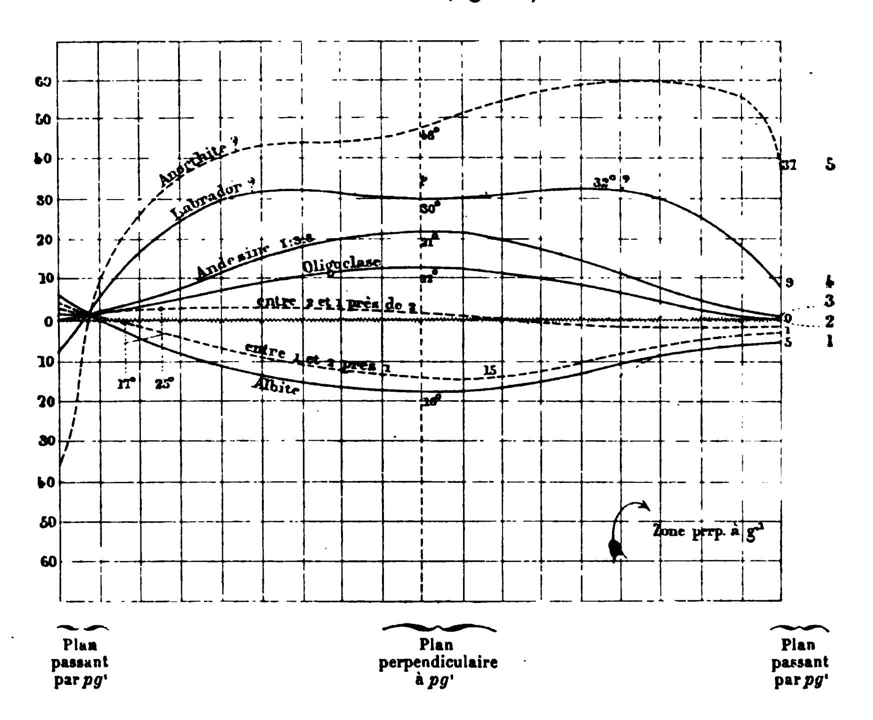


FIG. 14. — Zone perpendiculaire à g^1, rapportée à la trace g^1, à partir du plan passant par pg^1, dans le sens des aiguilles d'une montre.

l'axe des x; il coïncide avec le plan de la zone situé dans l'angle obtus ph^1 à environ 7° du plan p. On peut en conclure que, dans cette zone, les feldspaths, comme l'anorthite, qui s'éteignent très dissymétriquement suivant p, changent très rapidement l'orienta-

tion de leurs extinctions; on doit donc être dans un plan voisin des sections cycliques [1].

On voit aussi que, si l'on ne peut pas distinguer le sens des maxima, ces derniers ne différencient pas l'albite de l'oligoclase. Par contre les variétés intermédiaires albite-oligoclase doivent présenter un maximum très faible, voisin de 0° et caractéristique.

Enfin, à partir de l'oligoclase, les maxima croissent avec la basicité du mélange et peuvent être considérés comme caractéristiques.

Sans doute, il serait préférable de pouvoir, dans tous les cas, disposer de petites lamelles de clivage, constater les extinctions des feldspaths tricliniques sur des faces p et g^1 orientées convenablement, et au besoin contrôler les déterminations optiques par des essais chimiques. Mais ce sont là des desirata qui ne peuvent être remplis que dans un certain nombre de cas; les microlithes de seconde consolidation, qui constituent, dans un grand nombre de roches, le poids dominant du mélange minéralogique, échappent totalement à toute manipulation.

On en est donc réduit à rester dans l'indécision, ou à profiter des indications pour ainsi dire statistiques dont nous venons d'exposer la méthode. M. Max Schuster paraît préférer l'indécision; il n'y aurait pas lieu dès lors de proposer une classification des roches basée sur la nature des feldspaths dominants, puisque tous les passages existent. Mais qui ne voit à quelle confusion on s'expose, en ne séparant pas nettement des roches aussi basiques que les associations minérales riches en anorthite, de celles qui contiennent le plus acide de tous les feldspaths, l'albite.

En tout état de cause, que la théorie de M. Tschermak sur l'isomorphisme des feldspaths soit confirmée, ou qu'elle se transforme en une théorie mixte au moyen de laquelle des types intermédiaires stables, voisins de l'oligoclase, de l'andésine, du labrador, puissent coexister avec des mélanges mécaniques les plus divers, formés par ces feldspahts entre eux, il est absolument nécessaire de classer les roches en plusieurs catégories suivant le plus

[1] Les observations de M. Max Schuster confirment ce fait.

ou moins de basicité de leur feldspath dominant, et en fait la méthode que nous venons d'exposer permet d'effectuer rapidement ce classement dans la plupart des cas; elle a même cet avantage de s'appliquer le plus facilement quand les autres méthodes minéralogiques sont en défaut, c'est-à-dire dans le cas des microlithes très allongés suivant pg^1 (001) (010).

En résumé, nous avons vu dans ce chapitre l'importance, au point de vue du diagnostic d'un grand nombre de minéraux, des angles d'extinctions qu'ils présentent par rapport à certaines directions cristallographiques. Pour catégoriser le problème et en rendre la solution pratique et possible, nous avons dû recourir à la notion des sections en zone.

Les principales de ces zones sont celles *d'allongement*, *d'aplatissement*, enfin de *symétrie dans les cristaux maclés*. Suivant les cas, on a été amené à rapporter l'extinction à la direction d'allongement, à la trace des clivages faciles, à celles des plans d'assemblage des macles.

La considération des signes de ces zones principales ajoute à leur intérêt. Les maxima et les signes observés sont souvent caractéristiques.

CHAPITRE II

DÉTERMINATION DU SIGNE DANS LES SECTIONS EN PLAQUE MINCE

La détermination de la position respective des axes n_g' et n_p' de l'ellipse (E'), découpée dans l'ellipsoïde inverse (E) par une lame mince, se fait par les diverses méthodes usitées en minéralogie. Les plus commodes à employer en lumière parallèle sont basées sur l'emploi d'une lame de quartz, parallèle à l'axe, et taillée en biseau ; sur celui d'une lame de même nature donnant entre les nicols croisés le violet sensible n° 2 (entre le deuxième et le troisième ordre) ; enfin, sur l'emploi d'une lame de mica blanc quart d'onde.

1° *Quartz parallèle taillé en biseau.* — Il est commode d'allonger, perpendiculairement au biseau, cette lame de quartz et de procéder à sa taille, de telle façon que l'axe optique se trouve à 45° du biseau et, par suite, de l'allongement. On marque au diamant, sur une des faces, la direction de cet axe ; si par exemple, elle est à 45° N.-E. [1] dans une des positions à plat de la lame sur la platine du microscope, on peut, en la retournant simplement, amener l'axe du quartz à 45° N.-O., dans une orientation perpendiculaire à la précédente. La flèche gravée, sur une des faces, se verra directement ou par transparence dans la vraie direction de

[1] Nous supposons la platine du microscope disposée par rapport à l'observateur comme une carte géographique, le N. en haut, l'E. à droite.

l'axe optique positif du quart, c'est-à-dire dans celle du plus grand axe de son ellipse (E'), qui coïncide ici avec n_g.

Avec un pareil instrument, on peut procéder à la compensation en plaque mince de la plupart des minéraux. En effet, ces biseaux vont en général du gris bleu de premier ordre au gris violacé sensible entre le troisième et le quatrième ordre, c'est-à-dire de 1/4 d'onde pour les rayons jaunes, jusqu'à trois ondes entières.

Dans des plaques minces de $0^{mm},02$ on peut ainsi compenser des minéraux dont la biréfringence maxima ($n_g - n_p$) atteint 0,08. La dolomie, l'aragonite, la calcite, le rutile, le sphène dépassent seuls, parmi les minéraux usuels des roches, une pareille biréfringence.

Pour procéder à la compensation d'une section, on la place entre les nicols croisés, à 45° de ses extinctions ; puis on introduit E.-O. le compensateur ; sa direction n_g ou n_p est alors N.-E. ou N.-O. Si la compensation s'effectue, on sait qu'il est croisé avec les n'_g et n'_p de la section. Sinon, on le retourne et on recommence l'essai.

On est prévenu que la compensation a réellement lieu, lorsque par un petit déplacement vers l'est et ensuite vers l'ouest on obtient successivement les mêmes couleurs symétriquement disposées de part et d'autre de la position de compensation, et dans l'ordre croissant de la gamme de Newton. Cette vérification est toujours utile ; car lorsque la combinaison de la section et du biseau passe par une teinte sensible, il y a décroissance d'intensité lumineuse et l'on peut parfois croire à une compensation complète. Mais alors de petits mouvements à droite et à gauche ne donnent pas naissance successivement à des couleurs symétriquement disposées ; on obtient par exemple du rouge d'un côté et du bleu de l'autre.

Quand la compensation est complète, en retirant la plaque mince et observant le biseau seul, on doit lui trouver une coloration et une intensité lumineuse identiques à celles de la section étudiée, vue également seule entre les nicols croisés. On retire lentement le quartz, en comptant les teintes sensibles qui passent.

2° *Quartz parallèle donnant la teinte sensible n° 2.* — Son emploi est suffisant et fort commode avec les minéraux dont la biréfringence maxima ne dépasse pas deux tiers de longueur d'onde; ainsi les microlithes feldspathiques, les plages de quartz, de cordiérite, etc., les sphérolithes de calcédoine, d'opale, de feldspath peuvent être étudiés au point de vue de leur signe par ce moyen très simple. On introduit, entre les nicols, le quartz sensible de façon que son axe soit par exemple à 45° N.-E. Les microlithes dont la zone d'allongement est positive, se teintent de bleu dans les quadrants N.-E. et S.-O., et de jaune dans les quadrants N.-O. et S.-E.

Dans les sphérolithes à croix noire, la même méthode fait apparaître une croix violette située dans les plans principaux des nicols. et une croix bicolore à 45° ; une des branches de cette seconde croix tire vers le jaune, et l'autre vers le bleu ; suivant la position N.-E. ou N.-O. de l'une de ces branches, on peut induire que chaque rayon du sphérolithe est positif ou négatif dans sa zone d'allongement. Ainsi les sphérolithes de calcédoine des porphyres pétrosiliceux et des pyromérides sont positifs ; les sphérolithes d'oligoclase [1] de la variolite de la Durance sont négatifs; ceux d'opale des perlites et des rhyolites se montrent également négatifs, ce qui suppose une compression du dehors vers le centre.

Les inclusions gazeuses de certains corps isotropes, tels que l'haüyne, développent autour d'elles une zone de compression qui présente entre les nicols croisés les apparences des sphérolithes négatifs; l'élasticité optique y est plus grande radialement que tangentiellement (fig. 15).

Fig. 15.

Dans toute une classe de porphyres globulaires, les sphérolithes, régulièrement radiés en lumière naturelle, se comportent entre les nicols croisés comme un cristal unique et présentent quatre extinctions à angle droit, pour une rotation de 360° sur la platine du microscope. Quand un débris de quartz ancien sert de centre au sphérolithe, son extinction se fait simultanément avec celle du sphérolithe; il est dès lors vrai-

[1] Michel Lévy, *Variolite de la Durance* (*B. S. G.*, 232, V, 1877).

semblable que ce dernier s'est finalement imprégné de quartz, après avoir présenté pendant sa formation un état colloïde[1]. L'emploi du quartz à teinte sensible démontre avec rigueur que cette hypothèse est fondée : le sphérolithe se montre en effet finement pointillé de la même teinte que le débris de quartz ancien ; ce dernier s'est donc pour ainsi dire nourri aux dépens de la silice du sphérolithe, comme un cristal qui s'accroît au sein d'une solution saturée.

On doit à M. Fouqué des observations qui montrent que les sphérolithes peuvent manifester, même en lumière dite parallèle, certaines propriétés analogues à celles que développe la lumière convergente dans les cristaux uniaxes. En mettant au point un plan légèrement plus bas ou plus haut que le centre de la section, suivant que la position du centre du sphérolithe est au-dessus ou au-dessous de la plaque, on voit apparaître des cercles d'interférence. Ces propriétés ne se développent que dans les sphérolithes composés de cristaux uniaxes (Em. Bertrand) ; de plus, elles ne sont appréciables en plaque mince que sur des minéraux très biréfringents, tels que la calcite. Leur application pratique est donc ici assez restreinte. M. Mallard[2] a donné une explication rationnelle du phénomène.

Supposons (fig. 16) un sphérolithe à fibres uniaxes convergeant vers le centre O, allongées suivant l'axe optique unique, et coupées par la plaque mince assez loin du centre. Les rayons de lumière parallèle *mn*, supposés monochromatiques, ne contracteront pas les mêmes différences de phases O-E, suivant qu'ils traverseront cet assemblage près ou loin du centre. Comme tout est symétrique par rapport à l'axe O, si les retards, afférents à deux cercles, suffisamment distants, peuvent différer entre eux d'une demi-longueur d'onde, il se produira des anneaux d'interférences, et en lumière blanche des cercles colorés

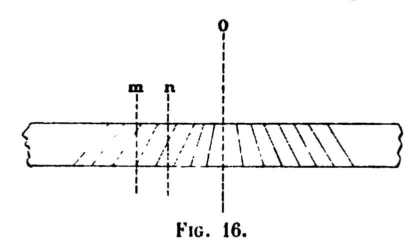


Fig. 16.

[1] Michel Levy. *Structure de roches acides* (*Ann. des mines*, VIII, 337, 1875).
[2] *Bull. Soc. Min.* 1881, p. 67.

analogues à ceux que produit la lumière convergente dans un cristal taillé perpendiculairement à son axe optique unique. La croix noire, propre à tout sphérolithe uniaxe, se superposera à ces anneaux colorés.

En réalité le miroir et le condenseur ordinaire du microscope n'envoient pas à la plaque mince des rayons rigoureusement parallèles et les anneaux colorés sont assez brouillés, quand on met au point la surface même du sphérolithe. Si au contraire on cherche à mettre au point le plan idéal contenant le centre O du sphérolithe, les abords immédiats de ce point présentent une image assez nette ; car les différents rayons, qui y convergent, suivent presque rigoureusement des chemins optiquement analogues dans chacune des fibres du sphérolithe. En particulier le centre O est noir, car tous les cristaux élémentaires sont traversés parallèlement à leur axe optique.

Le mica quart d'onde agit sur cette image comme sur les images de lumière convergente et M. Bertrand a pu déterminer ainsi le signe de quelques substances uniaxes (nouméite, etc.), exclusivement connues en sphérolithes.

Mais, d'une part, des corps biaxes à petit angle présentent des phénomènes analogues, et d'autre part il est nécessaire d'opérer sur des sphérolithes de grande taille et très biréfringents pour pouvoir observer les anneaux. L'application aux plaques minces est très restreinte.

3° *Mica quart d'onde.* — La lame de mica quart d'onde procure un moyen commode d'agir sur les sections produisant un retard de plus de un tiers d'ondulation, c'est-à-dire atteignant le blanc de premier ordre dans l'échelle de Newton. Son emploi revient à celui du quartz sensible; seulement ici, au lieu de partir de la teinte sensible et de chercher les légères modifications que les minéraux peu biréfringents, convenablement orientés, lui font subir, on part de la teinte du minéral et on lui fait subir une légère modification en lui superposant le mica quart d'onde.

Le principe est d'ailleurs toujours le même : si les deux ellipses E' et E'' du minéral étudié d'épaisseur e' et du minéral auxiliaire d'épaisseur e'' ont leurs axes superposés de telle façon que

n'_g et n''_g coïncident, les intensités lumineuses du minéral seul, de la plaque auxiliaire seule, enfin de leur ensemble, sont proportionnelles.

$$I' \text{ à } \sin^2 \pi \frac{e' (n'_g - n'_p)}{\lambda}$$

$$I'' \text{ à } \sin^2 \pi' \frac{e'' (n''_g - n''_p)}{\lambda}$$

$$\text{ensemble à } \sin^2 \pi \frac{e' (n'_g - n'_p) + e'' (n''_g - n''_p)}{\lambda}$$

Si l'on néglige la dispersion, on voit qu'il suffit d'additionner les retards du minéral et de la plaque auxiliaire pour obtenir le retard de l'ensemble composé de leur superposition parallèle, et par suite pour prévoir la teinte résultante.

Si n'_g coïncide avec n''_p, l'addition se change en soustraction. L'emploi du mica quart d'onde revient donc à ajouter ou à retrancher au retard du minéral étudié un quart d'onde du jaune moyen; le plus souvent les résultats ainsi obtenus sont nets et ne prêtent à aucune amphibologie.

Il nous reste à déterminer où se trouvent les axes n_g et n_p de la lame de mica auxiliaire. On sait que c'est une lamelle de clivage de muscovite, perpendiculaire à la bissectrice négative n_p; la plaque contient donc les axes n_g et n_m; et la direction n_g est nécessairement jalonnée par la trace du plan des axes optiques qui contient le plus grand et le plus petit indice de la substance.

Or c'est précisément sur cette trace que se produisent, en *lumière convergente,* les deux points noirs qui caractérisent les minéraux négatifs, lorsqu'on les essaye avec le mica quart d'onde. Pour plus de commodité, on allonge la lame auxiliaire à 45° de cette direction qui servira pour indiquer les minéraux négatifs en lumière convergente, et qui jalonnera le plus grand indice de réfraction n_g ou autrement la direction positive de la plaque de mica, en lumière parallèle.

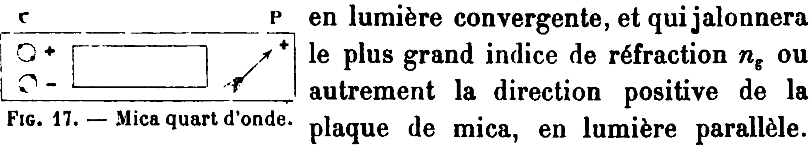


Fig. 17. — Mica quart d'onde.

Dans la figure 17, on a représenté un mica 1/4 d'onde ainsi disposé : à gauche sont les indications afférentes à la lumière convergente (C) ; à droite, en P, on a tracé la direction de l'indice n_g de la lame de mica.

Tous les procédés indiqués ci-dessus échouent dans un cas heureusement fort rare en plaque très mince, quand la section étudiée est extrêmement biréfringente et tombe dans les gris supérieurs au quatrième ordre. Pour déterminer le signe de la substance on doit alors avoir recours aux procédés afférents à la lumière convergente, en choisissant des sections favorables. L'emploi du compensateur Babinet, modifié par M. Jamin, peut dans ce cas rendre des services précieux, en lumière monochromatique.

CHAPITRE III

MESURE DE LA BIRÉFRINGENCE DES SECTIONS EN PLAQUE MINCE RECHERCHE DE LA BIRÉFRINGENCE MAXIMA D'UN MINÉRAL

Dans une section biréfringente qui coupe l'ellipsoïde inverse (E)[1] suivant l'ellipse (E'), nous avons successivement déterminé la position des axes n'_g et n'_p de cette ellipse, puis leur grandeur relative; nous allons pouvoir préciser, par des mesures simples et rapides, la différence $n'_g - n'_p$, dans les plus petits cristaux qui traversent la plaque mince. Cette différence peut être considérée comme mesurant la biréfringence propre à la section.

Pour l'épaisseur moyenne de $0^{mm},02$, le quartz et les feldspaths prennent entre les nicols croisés des teintes qui ne dépassent pas les gris de premier ordre; les phénomènes francs de polarisation chromatique ne se produisent que pour les minéraux à forte biréfringence tels que le pyroxène, le péridot, l'épidote. Quant aux corps extrêmement biréfringents, tels que la calcite, le rutile, ils atteignent déjà les gris qui suivent les couleurs du quatrième ordre.

Le diagramme ci-joint (fig. 18) rend compte de ces faits et en donne un résumé graphique. Il a été construit en partant de la formule connue qui donne l'intensité lumineuse I_R en lumière monochromatique d'une section minérale d'épaisseur e, vue entre les nicols croisés. Soit ω l'angle que fait le plan de vibration de la

[1] Nous rapportons toujours, comme précédemment, cet ellipsoïde à ses axes $n_g > n_m > n_p$, qui sont représentés numériquement par les indices de réfraction principaux de la substance.

lumière incidente avec celui du rayon ordinaire cheminant dans la plaque mince ; O_R et E_R les épaisseurs de lames d'air telles que les rayons ordinaire et extraordinaire emploient pour les traverser des temps égaux à ceux qui leur sont nécessaires pour traverser l'unité d'épaisseur du minéral en question ; λ_R la longueur d'onde des rayons rouges employés ; on sait que l'on a :

$$I_R = R \sin^2 2\,\omega_R \sin^2 \pi \frac{e\,(O_R - E_R)}{\lambda}$$

R est une constante qui ne dépend que de la quantité de lumière recueillie dans le microscope.

Nous poserons $O_R - E_R = X_R$ et nous rappellerons que $X = n'_g - n'_p$. En effet, soit v la vitesse dans l'air du rayon utilisé, v_o et v_e celles des rayons ordinaire et extraordinaire cheminant dans le minéral, t_o et t_e les temps nécessaires à cette traversée ; on a :

$$n'_g = \frac{1}{v_o} \quad n'_p = \frac{1}{v_e}$$

$$O = vt_o \quad E = vt_e$$

et enfin

$$v_o t_o = v_e t_e = 1$$

D'où l'on déduit :

$$O = \frac{v}{v_o} = vn'_g \quad E = \frac{v}{v_e} = vn'_p$$

et

$$X = O - E = v\,(n'_g - n'_p)$$

v est sensiblement égal à l'unité et l'intensité lumineuse prend la forme suivante :

$$(1) \qquad I_R = R \sin^2 2\,\omega_R \sin^2 \pi \frac{e X_R}{\lambda_R}$$

Si au lieu d'avoir affaire à une lumière monochromatique on opère en lumière blanche, l'œil recevra simultanément l'impression d'une série d'intensités I, dans lesquelles le facteur R et la longueur d'onde λ varieront avec chaque couleur élémentaire. Il y aura même, du fait de la dispersion, une légère variation de ω, et une variation généralement plus sensible de X. On peut négliger la dispersion dans une première approximation ; $\sin^2 2\,\omega$ devient

alors un facteur constant et l'impression d'ensemble est due à la somme :

$$\Sigma \mathrm{R} \sin^2 \pi \frac{e\mathrm{X}}{\lambda}$$

Les courbes, figurées dans le diagramme (fig. 18), sont de la forme

$$y = \mathrm{A} \sin^2 \pi \frac{x}{\lambda}$$

On a pris[1] pour unité des abscisses le millionième de millimètre, et pour unité des ordonnées l'intensité de chaque couleur élémen-

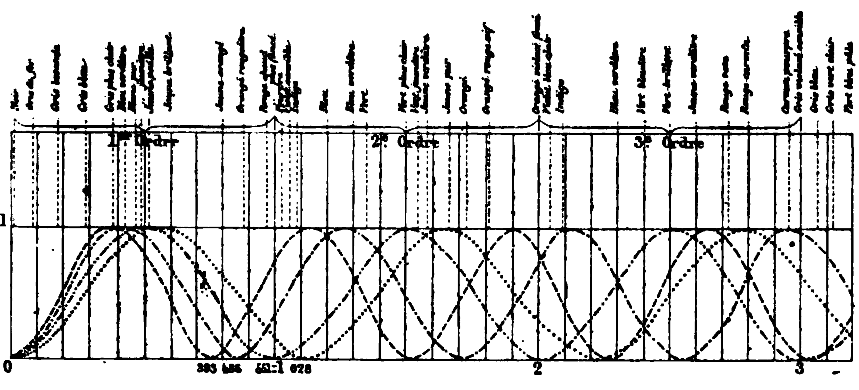


Fig. 18.

taire qui entre dans la lumière blanche. Les courbes ont été tracées pour quatre couleurs principales : violet, bleu, jaune moyen, rouge, dont on a supposé les longueurs d'onde, dans l'unité choisie, respectivement égales à

$\lambda_V = 393$ (raie K)
$\lambda_B = 486$ (raie F)
$\lambda_J = 551$ (correspondant au jaune moyen)
$\lambda_R = 628$ (verre rouge coloré par l'oxyde de cuivre)

Si l'on superpose à ces courbes des droites partant de l'origine et ayant pour coordonnées :

$$y' = me$$
$$x' = e\mathrm{X} = x$$

[1] Michel Lévy. *Bull. Soc. Min.*, nº 6, 1883.
Id. id. id. 1884.

on pourra déterminer immédiatement, pour une épaisseur e donnée, la quantité relative des différents rayons colorés que le minéral laissera parvenir à l'œil entre les nicols croisés.

Ce diagramme a aussi l'avantage de montrer, pour ainsi dire, pourquoi la polarisation chromatique proprement dite n'existe ni dans les plaques trop minces, ni dans les plaques trop épaisses : au départ, le faisceau des courbes, se rapportant aux diverses couleurs, est serré et une même ordonnée les coupe à peu près à même distance de l'axe des x ; nous verrons plus loin les simplifications, dans les calculs théoriques, que procure cette sorte de plaques très minces et les conclusions pratiques qu'on peut en déduire. Après les couleurs du troisième ordre, les courbes se sont tout à fait disjointes ; deux couleurs très voisines, deux violets par exemple, ont deux courbes dont l'une passe à son maximum tandis que l'autre s'annule ; l'impression d'ensemble équivaut alors à celle que donne une lumière grise, ayant la moitié de l'intensité du rayon blanc incident.

Dans les plaques minces, on ne dispose pas de l'orientation des minéraux, mais nous avons déjà vu que cet inconvénient est en partie compensé par le grand nombre de sections d'un même minéral que l'on peut étudier. Ici le problème n'a pas même besoin d'être spécifié, comme dans la mesure des angles d'extinction ; il y a pour chaque minéral une seule section de biréfringence maxima, celle qui est parallèle aux axes de plus grand et de plus petit indice ou, en d'autres termes, au plan des axes optiques. Alors on a

$$X = n_g - n_p$$

Si donc la plaque étudiée contient une vingtaine de sections d'épidote, par exemple, la première recherche consistera à déterminer celle d'entre elles qui présente la plus forte biréfringence. Si la plaque est très mince, il est rare que les couleurs dont se pare le minéral dépassent le milieu du second ordre : le vert clair de second ordre correspond, pour une épaisseur de $0^{mm},015$, à une biréfringence $n_g - n_p = 0,055$; c'est précisément celle de l'épidote, un des minéraux les plus biréfringents des roches. Dès lors, il est souvent suffisant de prendre l'ordre des couleurs de Newton et de choisir la plus rapprochée du vert.

Si le minéral polarise dans les teintes grises de premier ordre, on choisit la section la plus éclairée, lorsqu'on la place à 45° de ses extinctions entre les nicols croisés. Si le minéral dépasse le vert de second ordre, on l'étudie avec un compensateur à quartz parallèle en biseau; souvent même, sur le bord de ses sections très biréfringentes, le minéral présente une diminution graduelle d'épaisseur qui amène la production de franges dans lesquelles on peut très facilement compter le nombre de teintes sensibles d'apparence foncée, qui se succèdent entre les gris de premier ordre et la coloration présentée par le centre de la plage. Quand plusieurs minéraux très biréfringents se touchent, pour étudier les bords de leurs plages à ce point de vue, il convient d'éteindre les minéraux qui touchent le cristal à l'étude.

La section la plus biréfringente une fois déterminée dans la plaque mince, on peut être assuré que la valeur de X qui lui appartient est très voisine du maximum propre à l'espèce minérale étudiée, c'est-à-dire à la différence $n_g - n_p$ entre son plus grand et son plus petit indice de réfraction.

D'ailleurs, grâce à l'emploi du dispositif von Lasaulx, qui permet d'appliquer la lumière convergente aux plus petits cristaux visibles en plaque mince, on peut vérifier que la section choisie, qui est parallèle au plan des axes optiques, ne présente pas de courbes incolores et que celles d'égal retard donnent en lumière blanche des hyperboles équilatères colorées et centrées. En outre, la lumière convergente permet souvent de découvrir des sections sensiblement perpendiculaires à l'une des bissectrices; leur biréfringence est également très importante à déterminer, car elle est égale à $n_g - n_m$, ou à $n_m - n_p$, et l'on a très approximativement, en appelant 2V l'angle vrai des axes optiques autour de la bissectrice aiguë ou obtuse n_g,

$$\operatorname{tg}^2 V = \frac{n_m - n_p}{n_g - n_m}$$

Ces diverses constantes optiques sont subordonnées à un calcul suffisamment précis et rapide de X. Ce calcul se décompose en deux opérations, au point de vue pratique; la première qui permet de mesurer *e*X, la seconde qui consiste à mesurer avec une

approximation suffisante l'épaisseur *e* de la plaque mince, ou à l'éliminer par une observation convenable d'un minéral connu.

Mesure de eX. — Le polariscope de Bravais et surtout le compensateur de Babinet, modifié par Jamin, peuvent s'appliquer au microscope à forts grossissements; mais ils sont d'un usage difficile, lorsqu'on a affaire à des cristaux de très petite taille et faiblement biréfringents [1]. Le spectre cannelé de MM. Fiseau et Foucault donne des résultats remarquables par leur précision; mais il est nécessaire d'isoler la section à l'étude et d'opérer sur des plaques relativement épaisses de façon à faire apparaître un certain nombre de bandes sombres.

Nous avons cherché à établir un appareil, sinon plus sensible



Fig. 19.

que les précédents, du moins plus approprié aux recherches micrographiques, se maniant facilement, donnant en quelques minutes la mesure cherchée, et s'appliquant aux plus petits cristaux visibles dans le champ du microscope. Dans ce but, nous avons recouru à un *comparateur*.

Sur nos indications, M. Nachet a construit un oculaire spécial, pouvant s'adapter au microscope et permettant de comparer la teinte et l'intensité lumineuse d'un minéral quelconque à celle d'un quartz diminué qui sert de témoin.

[1] Voir, à propos des compensateurs, la note de M. Cornu sur la condition d'achromatisme dans les phénomènes d'interférence (*C. R.* XCIII, 21 nov. 1881).

Cet appareil se compose (fig. 19) des lentilles d'un oculaire n° 1 entre lesquelles s'intercale, à la place du réticule, un prisme à



FIG. 19 *bis*. — Comparateur.

réflexion totale P, muni d'un très petit cylindre de verre, collé au baume de Canada sur la face inclinée du prisme, et destiné à



FIG. 20. — Microscope Nachet, petit modèle.

laisser passer un faisceau de lumière venant de la platine du microscope.

La surface réfléchissante reçoit et envoie à l'œil la lumière venant d'un petit tube horizontal, soudé latéralement à celui de l'oculaire. Le tube latéral contient une lentille à long foyer et

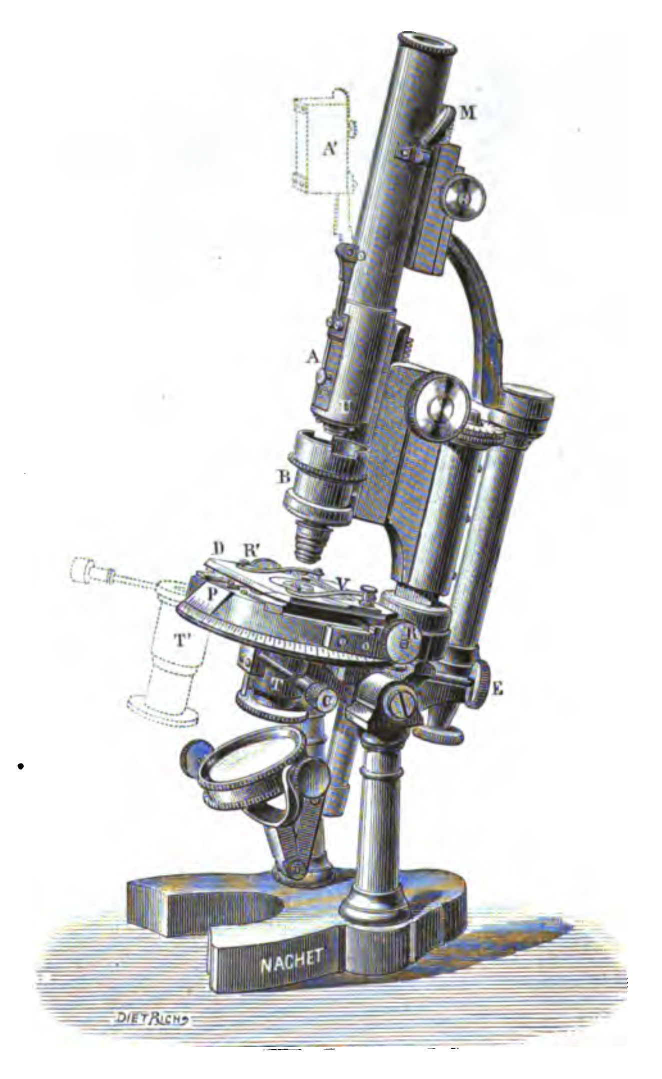


Fig. 21. — Microscope Nachet, grand modèle.

son diaphragme B, un nicol N et une petite platine tournante D qui entraîne dans sa rotation une lame de quartz parallèle à l'axe et taillée en biseau A.

Une vis de rappel permet de faire passer lentement le quartz témoin devant un diaphragme à trou très fin. L'appareil se termine par un second nicol N' mobile dans une bague et par un miroir susceptible de prendre toutes les orientations; il envoie la lumière dans un prisme à réflexion totale C, de telle façon que le miroir puisse être orienté parallèlement à celui du microscope. A la partie postérieure du nicol N' se trouvent deux ressorts entre lesquels on peut glisser des verres colorés.

Dans la plupart des minéraux, la dispersion de l'angle ω d'extinction est négligeable; celle de X est plus appréciable pour les quelques minéraux tels que le quartz, la calcite, l'aragonite, la barytine, qui ont été étudiés à ce point de vue. Pour obtenir plus rigoureusement, au moyen des courbes (fig. 18), les ordonnées représentant, pour une épaisseur donnée, la quantité de chaque rayon coloré qui arrive à l'œil, il faut recourir aux formules établies par Cauchy.

$$n_g = A + \frac{B}{\lambda^2}$$

$$n_p = A' + \frac{B'}{\lambda_2}$$

$$X = n_g - n_p = (A - A') + \frac{B - B'}{\lambda^2}$$

En général B — B' est de même signe que A — A', mais en constitue une fraction minime, de telle sorte que la différence entre les valeurs de X pour les rayons rouges et les rayons violets, qui peut à proprement parler s'appeler la dispersion de la biréfringence, est une quantité très petite; pour le quartz par exemple, on a

$$X_V - X_R = 0{,}00980 - 0{,}00910^1 = 0{,}00070$$

Dans une plaque de $0^{mm}{,}02$ d'épaisseur, la courbe qui remplace l'ordonnée coupant les diverses sinussoïdes colorées (fig. 18) se projette donc sur 14 millioniėmes de millimètre, le long de l'axe des *e*X.

On peut voir, pl. I, que cette variation amène un bien faible changement de teinte, surtout si l'on considère que l'œil est prin-

[1] Mascart, pour les raies A et P.

cipalement impressionné par les radiations dans le jaune moyen, et que l'hésitation, due ici à la dispersion, doit être réduite de plus de moitié, à cause de cette prédominance des rayons jaunes.

En tout cas, une pareille cause d'erreur peut ne pas être négligeable au point de vue de la détermination théorique et rigoureuse des biréfringences, qui doit toujours s'effectuer en lumière monochromatique. Mais elle est tout à fait sans influence sur les mesures qui ont pour objet le diagnostic et la spécification des minéraux contenus dans les plaques minces.

Nous continuerons donc à négliger la dispersion dans les cas où elle n'influence pas les angles ω d'extinction; et nous allons procéder à la graduation du quartz témoin. Le moyen le plus simple consiste à déterminer avec le vernier A (fig. 19) le chiffre de la graduation auquel correspondent les teintes sensibles n° 1 et n° 2 de ce comparateur. Soient t et t' ces deux lectures; t correspond à un retard $eX = 0^{mm},000575$ et t' à un retard $e'X = 0^{mm},001128$. On en déduit qu'une division de la graduation correspond à $d = \frac{1128 - 575}{t' - t}$, en millionièmes de millimètre; et dès lors, on a tous les éléments nécessaires pour savoir à quel retard correspond un degré quelconque de cette graduation. En effet, le bord du biseau, supposé prolongé jusqu'à $e = 0$, correspond à la division

$$T = t - \frac{575}{d} = t - \frac{575\,(t' - t)}{1128 - 575} = \frac{1128\,t - 575\,t'}{1128 - 575}$$

et la division t'' correspond en millionièmes de millimètre à un retard

$$e''\,X = (t'' - T)\,d$$

On peut obtenir une graduation un peu plus précise en recourant à une lumière monochromatique de longueur d'onde connue, et déterminant à quel degré de la graduation correspondent les intensités nulles, pour cette lumière, de la lame de quartz. Le calcul du point de départ de toutes les courbes, correspondant au point où l'épaisseur du biseau devient nulle, étant effectué, nous prendrons ce point pour 0 absolu de la graduation.

Cette opération terminée, une fois pour toutes, on introduit sur la platine du microscope une seconde lame auxiliaire de quartz en biseau, et l'on égalise pour une teinte déterminée, le jaune de second ordre par exemple, les intensités lumineuses des deux lames, en mettant celle de la platine du microscope à 45° de ses extinctions et, d'autre part, en tournant convenablement la platine mobile du comparateur. On enlève ensuite le quartz auxiliaire de la platine du microscope et on le remplace par la plaque mince à étudier.

Si le minéral ne polarise pas dans les teintes grises, on égalise au moyen du mouvement à vis A les teintes du quartz comparateur et du minéral disposé à 45° de ses extinctions. Lorsque les teintes s'identifient, l'intensité lumineuse doit également devenir la même, et la sensibilité de l'œil permet de juger avec une grande précision des limites entre lesquelles cette identification est le mieux réalisée. Le produit du chiffre de la graduation par la constante *d*, déterminée plus haut, donne la valeur du retard *e*X cherché.

Si le minéral polarise dans les teintes grises de premier ou de quatrième ordre, on le ramène aux couleurs plus franches en lui superposant une lame parallèle ou croisée de quartz, dont on a étudié le retard. On sait que ce retard s'ajoute à celui du minéral étudié, ou qu'il s'en retranche. Cette méthode s'applique avantageusement aux microlithes faiblement birétringents; on en augmente la sensibilité en donnant au quartz auxiliaire l'épaisseur convenant à une teinte sensible.

Quand la dispersion n'est pas négligeable, il convient de recourir à la lumière monochromatique et aux compensateurs gradués.

Mesure de l'épaisseur de la plaque mince. — Quel que soit le procédé employé pour obtenir la valeur *e*X, on ne peut utiliser cette dernière qu'en calculant ou éliminant l'épaisseur *e* de la plaque mince.

Le procédé le plus direct consiste à transformer la vis de mouvement lent du microscope en un sphéromètre sensible et à mettre successivement au point les poussières qui salissent le baume de Canada immédiatement au-dessus et au-dessous de la plaque mince.

On observe ainsi une épaisseur e', et il convient de répéter plusieurs fois l'opération, en relevant le microscope avec le mouvement rapide et en l'abaissant de nouveau avec le mouvement lent, pour atténuer les erreurs dues au pas de la vis de mouvement lent. Dans les microscopes de M. Nachet, ce pas est de 1/4 de millimètre et la tête de l'écrou, graduée en 100 parties égales, se meut devant un vernier permettant d'apprécier un dixième de division.

Avec l'oculaire 3 et l'objectif 7 (ancien) à immersion, l'erreur afférente à la mise au point elle-même n'atteint pas 1/4 de division; il convient d'opérer dans une lumière vive, tamisée par un verre rouge foncé, et d'observer les cercles de diffraction qui se développent, très brillants, autour des poussières observées, dès qu'on est au-dessus ou au-dessous de leur mise au point. On peut alors estimer la précision de la mesure à environ $\frac{1}{1600}$ de millimètre.

On voit que l'erreur croît en valeur relative quand la plaque devient mince ; avec les épaisseurs habituelles aux plaques minces, elle ne dépasse pas $\frac{1}{30}$.

Mais il est une autre cause théorique d'erreur qui est proportionnelle à l'épaisseur de la plaque ; on met en effet successivement au point des poussières séparées par la plaque mince elle-même ; l'indice de réfraction du minéral par rapport à celui de l'eau, dans laquelle plonge l'objectif, augmente ou diminue l'épaisseur apparente mesurée, suivant que cet indice relatif est plus petit ou plus grand que l'unité, et l'on a

$$e = e' \frac{\mu}{m}$$

en appelant μ l'indice de réfraction de la substance et m celui du liquide.

Pour éviter les complications, comme on ne peut toujours trouver, au voisinage du minéral étudié, une plage isotrope d'indice connu, il convient, dans les plaques de roches acides, de mesurer l'épaisseur au moyen des plages de quartz qui n'y font jamais défaut ; en conservant le nicol polariseur, on isole le rayon ordi-

naire qui en lumière rouge monochromatique a un indice ω_R sensiblement égal à 1,542. Le rapport est alors

$$\frac{\mu}{m} = \frac{1,542}{1,330} = 1,158$$

Dans les roches basiques, le feldspath (orthose, oligoclase) est seul assez abondant pour servir couramment à la mesure de l'épaisseur; sa biréfringence très faible permet de le considérer dans la plupart des cas comme un corps isotrope d'indice moyen $n_m = 1,52$, et le rapport $\frac{\mu}{m}$ devient 1,15.

Au lieu de mesurer directement l'épaisseur e de la plaque mince, on peut chercher un moyen pratique de l'éliminer de la valeur eX. Il suffit, pour y arriver, de polir en même temps que la plaque mince et autour d'elle quelques petits fragments de quartz parallèle à l'axe[1]. D'abord le polissage de la plaque mince se fait plus régulièrement; car on peut à chaque instant constater si tous les fragments de quartz présentent bien la même couleur, et appuyer du côté le plus épais au besoin.

Puis l'opération du polissage une fois terminée, il suffit de mesurer :

Pour le minéral étudié $eX = A$;

Pour le quartz parallèle $eX' = A'$.

D'où l'on déduit

$$X = \frac{A}{A'} X'$$

Lorsque le minéral est isolé et beaucoup plus tendre que le quartz, il convient de pousser d'abord les fragments de quartz parallèle à l'épaisseur définitive qu'on veut leur donner; on colle seulement ensuite le minéral, poli sur une de ses faces, au milieu des quartz, et on l'amincit avec précaution, jusqu'à ce qu'on sente que les faces polies du quartz portent de nouveau sur le plateau de polissage.

Orientations des sections d'égale biréfringence d'un minéral donné, contenues dans une même plaque mince. — Etant donnée une pla-

[1] M. Mallard a proposé, dans ce but, la barytine. *Bull. Soc. Min.*, 1883.

que mince d'épaisseur déterminée e, on peut se demander quelles sont les orientations de toutes les sections d'un même minéral, qui présenteront entre les nicols croisés la même biréfringence et, par suite, la même coloration en lumière blanche. Les considérations théoriques, développées ci-après, conduisent à la solution de la question. Cette constance suppose

$$e\,(n'_g - n'_p) = e\,(n_g - n_p) \sin m \sin p = K$$

D'où l'on tire

$$e \sin m \sin p = \frac{K}{n_g - n_p} = K'$$

Si nous considérons une sphère de rayon $\rho = e$, son intersection avec la surface d'égal retard

$$\rho \sin m \sin p = K'$$

nous donnera le lieu des normales aux diverses sections cher-

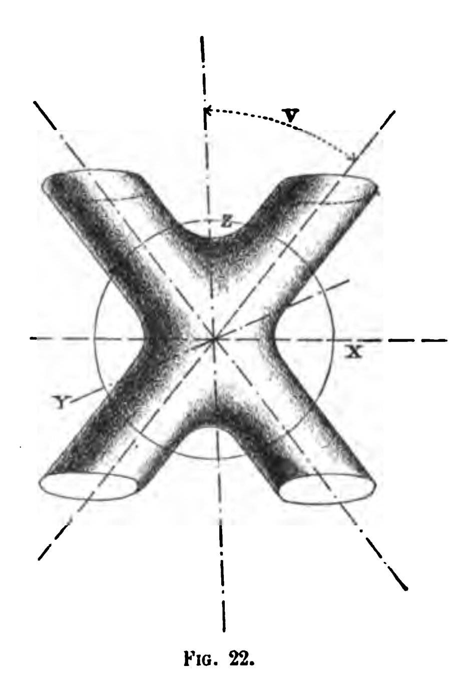


FIG. 22.

chées. Ces normales décriront donc un cône dont le centre est au centre de l'ellipsoïde (E) et dont nous connaîtrons l'intersection

avec la surface d'égal retard définie par la constante K′ (fig. 22).

On sait[1] que cette surface est composée de deux sortes de cylindres dont les axes sont parallèles aux axes optiques et qui se réunissent vers le centre; il y a nécessairement symétrie par rapport aux plans principaux d'élasticité.

Le demi-diamètre OZ de la surface suivant l'axe n_g est égal à $\frac{K'}{\sin^2 V}$, OY suivant l'axe n_m est égal à K′, OX suivant l'axe n_p est égal à $\frac{K'}{\cos^2 V}$; et le diamètre des cylindres creux tend vers une valeur $\frac{K'}{\sin 2V}$, quand on s'éloigne du centre.

Dans la discussion qui va suivre, il convient de supposer $\rho = e$ constant, et de donner successivement à $\sin m \sin p$ toutes les valeurs possibles entre 0 et 1. Il en résultera pour K′ une suite de valeurs, correspondant à une série de surfaces d'égal retard semblables entre elles, dont nous chercherons les intersections avec la sphère $\rho = e$. Prenons pour exemple un minéral positif :

$$\operatorname{tg}^2 V = \frac{n_m - n_p}{n_g - n_m} < 1 \quad \text{ou } n_m - n_p < n_g - n_m$$

1° Nous ferons d'abord varier $n'_g - n'_p$ de 0 à $n_m - n_p$. Cela revient à faire varier K′ de 0 à $e\frac{n_m - n_p}{n_g - n_m} = e \sin^2 V$; ou encore à supposer que le rayon de la sphère est plus grand que OZ.

Pour $K' = o$, la surface d'égal retard se réduit aux deux axes optiques ainsi que le cône cherché, ce qui pouvait être prévu.

Tant que K′ et $n'_g - n'_p$ sont petits, le lieu cherché sur la sphère se compose de deux cercles ayant pour centres les traces des axes optiques.

Puis à la limite, pour $n'_g - n'_p = n_m - n_p$, la sphère est tangente en Z à la surface d'égal retard, qu'elle coupe suivant une courbe en ∞ analogue à une lemniscate.

2° $n'_m - n'_p$ varie de $n_m - n_p$ à $n_g - n_m$; K′ de $e \sin^2 V$ à $e \cos^2 V$; ρ est compris entre OZ et OX.

Les courbes, tracées sur la sphère, ressemblent à des lemniscates de plus en plus allongées, et finissent par se réunir aux pôles X. Les diverses sections ont des normales formant une nappe conique

[1] BERTIN. *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. LXIII, 1861.

de plus en plus ouverte en éventail, dans le sens du plan des axes optiques.

3° $n'_g - n'_p$ varie de $n_g - n_m$ à $n_g - n_r$; K′ de $e \cos^2 V$ à e; ρ est compris entre OX et OY. Les courbes sur la sphère se ferment autour du pôle Y et les nappes du cône quittent le voisinage du plan des axes optiques pour se grouper autour de l'axe n_m.

On sait qu'au voisinage du sommet Y la surface d'égal retard peut être considérée comme se confondant avec l'hyperboloïde.

$$x^2 \cos 2V + y^2 - z^2 \cos 2V = K'^2$$ [1]

Applications pratiques relatives à la biréfringence. — Si l'on reporte sur une épure à grande échelle les données de la figure 18, on peut arriver, sans calcul et d'un seul coup d'œil, à prévoir, pour une plaque mince donnée, les couleurs que ne dépasseront pas les sections des divers minéraux, dans lesquels la valeur $n_g - n_p$ est connue (voir Pl. I).

La première graduation horizontale, en haut, représente le retard eX en millionièmes de millimètre. La seconde est réservée à la correspondance de la graduation du quartz comparateur, établie comme il a été dit page 58.

Immédiatement au-dessous, se trouve le tableau, d'après Brücke, de la succession des couleurs dans l'ordre de Newton, avec la distinction du premier, du second ordre, etc., c'est-à-dire avec l'indication des longueurs d'onde du jaune moyen.

Au-dessous de ces premières données, se trouve un second tableau, empruntant au premier ses abscisses, et possédant en outre des ordonnées proportionnelles aux épaisseurs e des plaques minces, comptées en centièmes de millimètre.

Pour faire sortir les valeurs X, afférentes à la biréfringence et

[1] Postérieurement à cette discussion sommaire, M. Vallerand a traité le même problème d'une façon approfondie et indiqué le moyen de tracer par points les courbes en question. Il ressort de son étude un fait pratique fort intéressant : les deux courbes d'intersection de la sphère $\rho = e$ avec les surfaces d'égal retard K ont des longueurs maximum, lorsque $K' = e \sin^2 V$ et $K' = e \cos^2 V$; c'est-à-dire pour les biréfringences des sections parallèles aux plans principaux d'élasticité autres que le plan des axes optiques. La première valeur correspond à un maximum absolu. En établissant, sur un nombre suffisant de sections, la statistique des biréfringences, on peut donc en déduire la valeur absolue de V.



débarrassées de l'épaisseur de la plaque mince, des données précédentes, il suffit de remarquer que pour une épaisseur de 0^{mm},06 par exemple, la série des biréfringences $n_g - n_p = 0,001... 0,002... 0,003$, etc., donne au retard eX des valeurs e X = 0^{mm},000060... 0^{mm},000120... 0^{mm},000180. Ces points une fois marqués sur l'horizontale de l'épaisseur 0^{mm},06, on les joint par des lignes droites à l'origine du tableau inférieur. Ces droites coupent évidemment les diverses horizontales en des points qui correspondent aux retards eX afférents à chaque épaisseur.

Ainsi, lorsque l'épaisseur d'une plaque mince est connue, il suffit de poser une règle sur l'horizontale du tableau inférieur qui la représente, et de suivre des yeux les ordonnées verticales qui partent de ses divers points d'intersection avec les droites qui divergent de l'origine. Au droit de chacune de ces ordonnées se trouve dans le tableau supérieur, la mention du retard qui correspond à chaque valeur de la biréfringence et l'indication de la couleur qui en résulte.

Pour compléter le tableau, on a intercalé, le long de l'échelle X, les valeurs connues de biréfringence maxima, pour le jaune moyen, contenues dans divers ouvrages et mémoires et se rapportant aux minéraux usuels des roches.

Cette première liste est assez courte et nous avons dû la compléter par nos observations personnelles. Ces dernières ont été faites en négligeant la dispersion; elles sont donc insuffisantes au point de vue théorique pour un certain nombre de minéraux à dispersion marquée, tels que la zoïsite; mais, dans ce cas même, elles donnent encore des résultats suffisamment précis pour la reconnaissance pratique des minéraux au microscope.

L'emploi, pour les déterminations microscopiques, du tableau Pl. I, procure immédiatement un caractère différentiel précieux; car cette observation se fait pour ainsi dire au premier coup d'œil, et de plus on voit que l'épaisseur habituelle des plaques minces lui est très favorable; car elle étale les principaux minéraux des roches dans les trois premiers ordres de Newton, c'est-à-dire dans ceux dont les couleurs sont les plus faciles à distinguer les unes des autres.

Ce seul caractère permet souvent de différencier immédiatement deux minéraux dont les autres propriétés optiques sont voisines

l'une de l'autre. Ainsi, en plaque mince de $0^{mm},02$, le zircon donne au maximun le violet de troisième ordre; le rutile au contraire ne présente plus de polarisation chromatique, et montre entre les nicols croisés la même apparence qu'en lumière naturelle.

On remarquera que l'enstatite et l'hypersthène ont une biréfringence maxima qui est plus de deux fois inférieure à celle du pyroxène et de l'amphibole. La zoïsite et l'épidote, le corindon et la tourmaline bleue, etc., se distinguent de même.

Il y a parfois des variations considérables dans la biréfringence d'une même plage d'un minéral déterminé ; l'épidote, à ce point de vue, présente des irrégularités qu'il est nécessaire de signaler. Dans les schistes à glaucophane, dans les schistes amphiboliques du Beaujolais, dans la roche de contact entre le granite et le gneiss de Cabre près Vic-Dessos (Ariège), on observe fréquemment, dans une seule et même plage d'épidote, dont les autres propriétés optiques, extinctions, angles des axes optiques, signe, restent identiques, des variations de la biréfringence allant du simple au triple (0,054 à 0,016).

Il est difficile d'expliquer ces faits autrement qu'en supposant que les cristaux d'épidote sont entremêlés dans leur épaisseur avec une substance isotrope, ou faiblement biréfringente (zoïsite ?), car sinon les rapports $e\,(n_g - n_p)$, $e\,(n_g - n_m)$, $e\,(n_m - n_p)$ ne devraient pas subir simultanément des variations exactement proportionnelles.

Voici la liste des biréfringences du plus grand nombre de minéraux des roches :

TABLEAU DES BIRÉFRINGENCES

MINÉRAUX	Biréfringence $n_g - n_p$	COULEURS EN PLAQUES DE 0mm01	DE 0mm02	DE 0mm03
Analcime	0,001	1er ordre.	1er ordre.	1er ordre.
Apophyllite	»			
Gmélinite	»			
Leucite	»			
Pennine	»			
Idocrase	0,002			
Lévyne	»			
Chabasie	0,003			
Christianite	»			
Eudyalite	»			
Ripidolite	»			
Apatite	0,004			
Eucolite	»			
Beryl	0,005			
Gehlénite	»			
Harmotôme	»			
Mélilite	»			
Néphéline	»			
Pérowskite	0,006			
Stilbite	»			
Zoïsite	»			
Anorthose	0,007			
Danburite	»			
Heulandite	»			
Microcline	»			
Orthose	»			
Albite	0,008			
Gismondine	»			Blanc pur.
Labrador	»			
Oligoclase	»			
Scolésite	»			
Axinite	0,009			
Corindon	»			
Cymophane	»			
Enstatite	»			
Gypse	»			
Laumonite	»			
Mosandrite	»			
Okénite	»			
Quartz	»			
Saphirine	»			
Cordiérite	0,010			
Dumortiérite	»			
Epistilbite	»			
Rhodonite	»			

MINÉRAUX	Biréfringence $n_g - n_p$	COULEURS EN PLAQUES DE 0mm01	DE 0mm02	DE 0mm03
Staurotide	»			
Topaze	»			
Andalousite	0,011			
Antigorite	»			
Barytine	»			
Clinochlore	»			
Brewstérite	0,012			Jaune brill.
Clintonite	»			
Natrolite	»			
Pétalite	»			
Anorthite	0,013			
Hypersthène	»			
Wagnérite	»			
Delessite	0,014		Blanc pur.	
Vōlknérite	»			
Wollastonite	»			
Chloritoïde	0,015			Orangé.
Dipyre	»			
Disthène	0,016			
Phénacite	»			
Triphane	»			
Alunite	0,018		Jaune brill.	Rouge.
Amblygonite	»			
Hydrargillite	0,019			
Mélinophane	»			VIOLET
Ardennite	0,020			2e ordre.
Tourmaline	»			
Brucite	0,021			
Homilite	»			
Paranthine	»			
Sillimanite	»			
Augite	0,022			
Carpholite	»			
Glaucophane	»		Orangé.	Bleu.
Warwickite	»			
Hornblende commune	0,023			
Pargasite	»			
Antophyllite	0,024			
Autunite	»			
Diallage	»			
Leucophane	»			
Richtérite	»			
Actinote	0,025	Blanc pur.		
Wavellite	»			
Wöhlérite	0,026		Rouge.	
Arfvedsonite	0,027			
Trémolite	»			Vert.

MINÉRAUX	Biréfringence $n_g - n_p$	COULEURS EN PLAQUES DE $0^{mm}01$	DE $0^{mm}02$	DE $0^{mm}03$
Thomsonite	0,028		VIOLET 2e ordre.	
Cancrinite	0,029			
Diopside.	»			Jaune
Herdérite	»			
Jadéite.	»			
Mélinophane.	»			
Catapléite	0,030			
Lavénite	»			
Allanite	0,032			
Babingtonite.	»			
Humites	»			
Prehnite.	0,033		Bleu.	Orangé.
Lazulite	0,036			Rouge.
Meïonite	»			
Olivine.	»	Jaune brill.		
Epidote	0,038			VIOLET 3e ordre.
Gilbertite	»			
Pectolite.	»			
Talc (?).	»			
Méroxène	0,040		Vert.	
Pyrophyllite.	0,041			
Muscovite	0,042			
Datholite	0,044			
Phlogopite.	»			
Diaspore.	0,048			
Fayalite	0,049	Orangé.	Jaune	Vert brillant
Anatase	0,050			
Acmite	0,052			
Astrophyllite	0,054		Orangé.	
Talc (maximum)	»			
Grunérite	0,056	Rouge.	Rouge.	GRIS VIOLACÉ.
Zircon	0,062	VIOLET. 2e ordre.	VIOLET 3e ordre.	
Vermiculite	0,068			
Hornblende ferrifère . . .	0,072	Bleu.	Bleu.	
Cassitérite.	0,097	Vert.	Vert brillant	
Sphène	0,121	VIOLET. 3e ordre.	GRIS VIOLACÉ	
Aragonite	0,155			
Calcite	0,172	GRIS VIOLACÉ.		
Dolomie	0,179			
Rutile	0,287			

Il est intéressant, au point de vue théorique, de chercher à grouper, par familles, les minéraux et de comparer leur biréfringence à leur composition chimique :

Alumine pure. Corindon = 0,009
Alumine hydratée. Diaspore = 0,048
— — Hydragillite = 0,019

Silice pure. Quartz = 0,009

Silicates d'alumine. Andalousite = 0,011
— — Disthène = 0,016
— — Dumortiérite = 0,010
— — Staurotide = 0,010
— — Sillimanite = 0,021
— — Topaze = 0,010

Silicates d'alumine hydratés. Carpholite = 0,022

Silico-aluminates alcalins et alcalino-terreux
— Orthose = 0,007
— Albite = 0,008
— Anorthite = 0,013
— Néphéline = 0,005
— Meïonite = 0,036
— Paranthine = 0,021
— Dipyre = 0,015

Magnésie. Périclase (cubique) = 0,000
Magnésie hydratée. Brucite = 0,021

Monosilicate de magnésie. Olivine = 0,036
— fluoré. Chondrodites = 0,032
— ferrugineux. Fayalite = 0,049

Bisilicate de magnésie. Enstatite = 0,009
— ferrugineux. Hypersthène = 0,013

Silicate de magnésie hydraté. Talc = 0,038 à 0,054

Silico-aluminate de magnésie.
Cordiérite = 0,010

Silico-aluminates de magnésie hydratés.

Chlorites { Pennine = 0,001
Ripidolite = 0,003
Clinochlore = 0,011

Chloritoïdes = 0,015
Vermiculites = 0,068

Bisilicate de chaux. Wollastonite = 0,014

Bisilicates de chaux et magnésie.

Pyroxènes. Diopside = 0,030
Amphiboles. Trémolite } 0,026
— Actinote }
Antophyllite = 0,023

Bisilicates avec soude et alumine.

Amphiboles. Glaucophane = 0,021
Pyroxène. Jadéite = 0,029
— ferrugineux.
Amphiboles. Arfvedsonite = 0,027
Pyroxènes. Acmite = 0,052

Bisilicates ferrugineux et manganésifères.

Amphiboles. Grunérite = 0,056
Richtérite = 0,024
Pyroxène. Rhodonite = 0,010

Silico-aluminates de chaux.

Epidote = 0,038 à 0,056 (biréfringence variable).
Zoïsite = 0,006
Allanite = 0,032
Mélilite = 0,005

Silicates et aluminates de glucine.

Cymophane = 0,009
Phénacite = 0,016
Beryl = 0,005

Si l'on se reporte aux familles naturelles de silicates, telles par exemple que Naumann et Zirckel ont essayé de les grouper, on constatera que peu d'entre elles présentent une certaine fixité dans la valeur de la biréfringence.

Cependant les *silicates d'alumine* (andalousite, topaze, staurotide, saphirine, dumortiérite) oscillent entre 0,009 et 0,011. Seuls le

disthène (0,016) et la sillimanite (0,021) font exception à cette règle.

La famille de l'*épidote* a une forte biréfringence (0,032 à 0,038) ; l'apparente exception de la zoïsite et des orthites paraît devoir être rapportée à des groupements complexes.

Les *monosilicates* (péridots et humites) sont aussi fortement biréfringents (0,032 à 0,056) ; par contre la phénacite (0,016), comme la plupart des minéraux riches en glucine, est moins biréfringente.

Les *micas* et la *vermiculite* ont une biréfringence très élevée (0,038 à 0,068).

Les *chlorites*, les *clintonites* et les *chloritoïdes* oscillent entre 0,001 et 0,015 ; ce sont des types de minéraux à groupements complexes et il est remarquable qu'ici encore, comme pour la zoïsite, la dispersion des axes d'élasticité soit assez marquée pour que les gris de premier ordre soient remplacés par des couleurs exceptionnelles : bleu profond ou rose cuivré.

Les *bisilicates* oscillent entre 0,021 et 0,030. Par exception les hypersthènes sont beaucoup plus faiblement biréfringents (0,009 à 0,013). On peut rapporter également cette particularité au groupement plus symétrique de leur réseau. L'œgyrine, la grunérite, la hornblende ferrifère font aussi exception à cette moyenne, mais en sens inverse; elles montent à 0,052 et même à 0,072.

Les *feldspaths* se groupent entre 0,007 et 0,013. La teneur en chaux paraît nettement augmenter leur biréfringence.

Parmi les *zéolites*, trois seulement dépassent de beaucoup la biréfringence du quartz : ce sont la pectolite (0,038), la prehnite (0,033) et la thomsonite (0,028). Le plus grand nombre de ces minéraux présente d'ailleurs des groupements extrêmement complexes, qui doivent amener les compensations les plus variées.

CHAPITRE IV

DES POSITIONS D'ÉGALE INTENSITÉ LUMINEUSE DE DEUX MINÉRAUX FAIBLEMENT BIRÉFRINGENTS, JUXTAPOSÉS EN PLAQUE MINCE; SUPERPOSITIONS.

Lorsqu'on étudie au microscope, en plaque très mince, des plages de feldspath triclinique à nombreuses lamelles hémitropes, la composition complexe de ces cristaux ressort en général avec une extrême netteté; car les divers individus cristallins maclés ne

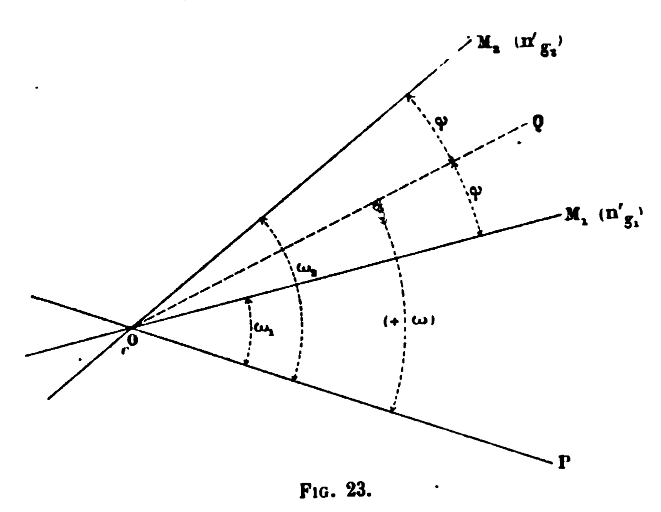


Fig. 23.

présentent pas les mêmes intensités lumineuses et ne passent pas dans leurs positions d'extinction simultanément. Cependant, durant une rotation de 360° sur la platine du microscope, on saisit diverses positions pour lesquelles l'homogénéité se rétablit et le cristal tout entier paraît alors uniforme.

Nous avons cherché à établir les règles qui président à ces positions d'égale intensité lumineuse. Dans ce qui va suivre, nous supposerons : 1° que la plaque mince ne dépasse pas $0^{mm},01$ d'épaisseur ; 2° que la biréfringence $(n_g - n_p)$ atteint au maximum 0,015. Dans ces conditions, le retard eX se meut entre 0 et 150 millionièmes de millimètre, c'est-à-dire entre 0 et $\frac{1}{5}\lambda_j$ (jaune moyen). On peut dès lors, sans grave erreur, remplacer la valeur $\sin^2 \pi \frac{eX}{\lambda}$ par $\frac{e^2 X^2}{\lambda^2}$ et d'ailleurs on se trouve dans le cas signalé page 52, pour lequel les faisceaux des diverses courbes, afférentes aux colorations diverses, se confondent sensiblement entre eux. On suppose les nicols croisés.

Soient (fig. 23) OM_1, OM_2, les positions des axes n'_{g1}, n'_{g2} des deux minéraux juxtaposés, dont nous considérons les ellipses (E'), par rapport à la position OP de la section principale du polariseur. Posons

$$n'_{g1} + n'_{p1} = A_1 \qquad n'_{g2} + n'_{p2} = A_2$$
$$n'_{g1} - n'_{p1} = B_1 \qquad n'_{g2} - n'_{p2} = B_2$$

Nous traçons la bissectrice OQ de l'angle aigu 2φ, fait entre eux par les deux axes n'_{g1}, n'_{g2}, et nous choisissons la direction positive suivant laquelle nous compterons les angles ω, faits par OP avec OQ, de telle sorte que la section OM_1 (correspondant à $B_1 > B_2$) soit dans le sens positif à partir de OQ.

On a

$$(1) \qquad \begin{cases} I_1 = \frac{\pi^2 e^2}{\lambda^2} B_1^2 \sin^2 2(\omega - \varphi) \\ I_2 = \frac{\pi^2 e^2}{\lambda^2} B_2^2 \sin^2 2(\omega + \varphi) \end{cases}$$

et pour les positions d'égale intensité lumineuse dans lesquelles $I_1 = I_2$

$$B_1^2 \sin^2 2(\omega - \varphi) = B_2^2 \sin^2 2(\omega + \varphi)$$

D'où l'on déduit deux séries de valeurs ω, suivant que l'on prend la racine carrée du second membre avec les signes + ou — :

$$(2) \qquad \text{Signe } + \qquad \operatorname{tg} 2\omega = \operatorname{tg} 2\varphi \frac{B_1 + B_2}{B_1 - B_2}.$$

$$(3) \qquad \text{Signe } - \qquad \operatorname{tg} 2\omega' = \operatorname{tg} 2\varphi \frac{B_1 - B_2}{B_1 + B_2}$$

Chacune de ces équations donne, pour ω, une série de valeurs à angles droits : si ε, ε' sont les plus petits angles ω, ω', on aura :

$$\omega = \varepsilon \pm n\frac{\pi}{2} \quad \omega' = \varepsilon' \pm n\frac{\pi}{2}$$

et d'ailleurs la relation suivante lie toutes ces valeurs :

$$\operatorname{tg} 2\omega \operatorname{tg} 2\omega' = \operatorname{tg}^2 2\varphi$$

On a, par le choix des variables, posé $2\varphi < \frac{\pi}{2}$ et $B_1 - B_2 > o$. Il en résulte que, dans la série positive $\operatorname{tg} 2\varepsilon$ est toujours plus grand que 0 et que 2φ. Donc on a :

$$2\varepsilon < \frac{\pi}{2} \quad \text{et } 2\varepsilon > 2\varphi$$

ou

$$\varphi < \varepsilon < \frac{\pi}{4}$$

En d'autres termes, pour les différentes positions d'égale inten-

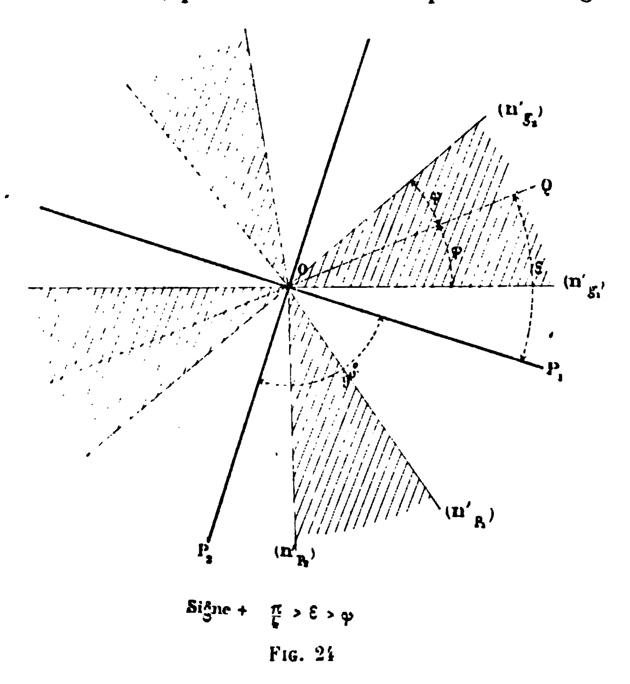


Fig. 24

sité lumineuse qui correspondent au signe +, le plan principal du polariseur devra être placé dissymétriquement, hors de l'angle

aigu fait par les axes n'_{g1} n'_{g2}, et plus près de l'axe n'_{g1} correspondant à la section la plus biréfringente (fig. 24).

Dans la série correspondant au signe —, on a également

$$\text{tg } 2\,\omega' > 0 \quad \text{ou } 2\,\omega' > 0 \text{ et } < \frac{\pi}{2}$$

Mais ici :

$$\text{tg } 2\,\omega' < \text{tg } 2\,\varphi$$

On en déduit :

$$0 < \varepsilon' < \varphi$$

Les positions du polariseur, correspondant aux égales intensités lumineuses, sont encore ici voisines des axes de la section la

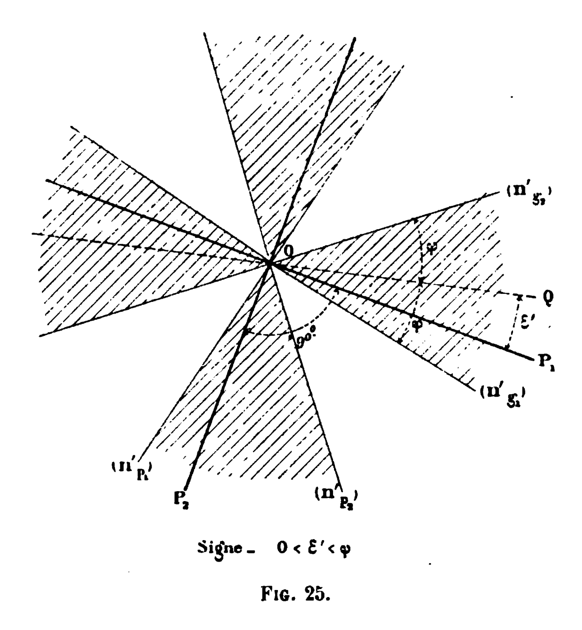


Fig. 25.

plus biréfringente; mais elles sont plus rapprochées de la symétrie que les précédentes et comprises dans les angles aigus n'_{g1} n'_{g2} ou n'_{p1} n'_{p2} (fig. 25).

On peut facilement vérifier ces premières conclusions, en étudiant les plages feldspathiques à lamelles hémitropes. Pour une rotation de 360° sur la platine du microscope, on trouve en effet 8 positions d'égale intensité lumineuse à angle droit, 4 par 4, si

l'on fait abstraction des parties où les lamelles hémitropes se recouvrent l'une l'autre. La sensibilité du procédé est fort grande et ne le cède en rien à la recherche des extinctions.

Plages complexes, superpositions. — Si, pendant la rotation, on examine les parties de la plaque où des lamelles hémitropes se recouvrent l'une l'autre, on constate que, dans quatre des précédentes positions d'égale intensité lumineuse, à angle droit l'une sur l'autre, les portions complexes de la plage se fondent uniformément dans l'intensité commune, tandis que, dans les quatre autres positions, ces mêmes portions ressortent plus foncées sur l'ensemble plus clair.

Ce fait d'observation nous a induit à traiter théoriquement le cas où les deux minéraux justaposés se superposent. Nous supposerons d'abord que l'on a seulement affaire à deux lamelles superposées, d'une épaisseur m_1 pour le premier minéral, m_2 pour le second, comptée perpendiculairement à la plaque mince, et nous admettrons, comme nouveau postulatum, qu'on peut négliger l'obliquité de la surface de contact des deux lamelles, eu égard aux faibles différences que présentent entre eux les indices de réfraction principaux.

Nous pouvons dès lors appliquer les formules connues [1] relatives à la superposition de deux plaques biréfringentes, toutes deux perpendiculaires aux rayons lumineux. Ces formules sont les suivantes :

$$I = \begin{cases} -\sin 2\omega_1 \sin 2\omega_2 \sin 2(\omega_2 - \omega_1) \sin^2 \pi \dfrac{m_1 B_1}{\lambda} \\ +\cos 2\omega_1 \cos 2\omega_2 \sin 2(\omega_2 - \omega_1) \sin^2 \pi \dfrac{m_2 B_2}{\lambda} \\ +\sin 2\omega_1 \sin 2\omega_2 \cos^2(\omega_2 - \omega_1) \sin^2 \pi \dfrac{m_1 B_1 + m_2 B_2}{\lambda} \\ -\sin 2\omega_1 \sin 2\omega_2 \sin^2(\omega_2 - \omega_1) \sin^2 \pi \dfrac{m_1 B_1 - m_2 B_2}{\lambda} \end{cases}$$

Remplaçons comme précédemment les $\sin^2 \pi \frac{eX}{\lambda}$ par leurs arcs et développons en $\sin 2\omega_1$, $\cos 2\omega_1$, $\sin 2\omega_2$, $\cos 2\omega_2$.

[1] VERDET. *Leçons d'optique physique*, t. II, p. 109.

On trouve

$$I = \frac{\pi^2}{\lambda^2} \left\{ \begin{array}{l} m_1^2 B_1^2 (-\sin 2\omega_1 \sin 2\omega_2 \cos 2\omega_1 \cos 2\omega_2 + \sin^2 2\omega_1 \cos^2 2\omega_2) \\ + m_2^2 B_2^2 (-\sin 2\omega_1 \sin 2\omega_2 \cos 2\omega_1 \cos 2\omega_2 + \sin^2 2\omega_2 \cos^2 2\omega_1) \\ + \frac{m_1^2 B_1^2 + m_2^2 B_2^2 + 2 m_1 m_2 B_1 B_2}{2} (+ \sin 2\omega_1 \sin 2\omega_2 \cos 2\omega_1 \cos 2\omega_2 \\ \qquad + \sin^2 2\omega_1 \sin^2 2\omega_2 + \sin 2\omega_1 \sin 2\omega_2) \\ + \frac{m_1^2 B_1^2 + m_2^2 B_2^2 - 2 m_1 m_2 B_1 B_2}{2} (+ \sin 2\omega_1 \sin 2\omega_2 \cos 2\omega_1 \cos 2\omega_2 \\ \qquad + \sin^2 2\omega_1 \sin^2 2\omega_2 - \sin 2\omega_1 \sin 2\omega_2) \end{array} \right.$$

En ordonnant en B_1, B_2 et simplifiant, on obtient :

$$(4) \qquad I = \frac{\pi^2}{\lambda^2} (m_1 B_1 \sin 2\omega_1 + m_2 B_2 \sin 2\omega_2)^2$$

Simplifiée au moyen des postulata énoncés plus haut, la formule ne tient plus compte de l'ordre de superposition des deux minéraux et permet d'intervertir cet ordre. Au lieu de deux lamelles, on peut donc en supposer un nombre quelconque, puis réunissant ensemble les diverses lamelles de même nature et de même orientation, on appellera m_1 l'épaisseur totale des lamelles du premier minéral, m_2 celle du second ; $m_1 + m_2$ sera donc l'épaisseur de la plaque :

Dès lors, en tenant compte des équations (1), l'équation (4) devient :

$$(5) \qquad I = \left(\frac{m_1}{m_1 + m_2} \sqrt{I_1} \pm \frac{m_2}{m_1 + m_2} \sqrt{I_2} \right)^2$$

Telle est l'intensité des plages composées dans lesquelles les rayons lumineux traversent successivement une épaisseur m_1 du premier minéral et m_2 du second.

Si nous supposons réalisé le cas des intensités lumineuses égales, pour les valeurs $\omega = \epsilon \pm n \frac{\pi}{2}$ (signe +), on aura

$$I_1 = I_2 = i \quad \text{et } I = i \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1 + m_2} \right)^2 = i$$

L'intensité commune sera la même non seulement pour les plages exclusivement composées d'un ou de l'autre des minéraux juxtaposés, mais encore pour celles qui comportent des superpositions multiples.

Si l'égalité $I_1 = I_2 = i'$ se rapporte aux valeurs $\omega' = \iota' \pm n \frac{\pi}{2}$ (signe —), on trouve :

$$I = i' \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right)^2$$

L'intensité des plages complexes sera moindre que celle des minéraux justaposés et non superposés ; il y aura même extinction des plages complexes pour $m_1 = m_2$.

On peut se proposer de chercher si les plages composées d'une épaisseur m_1 du premier minéral et m_2 du second se comportent

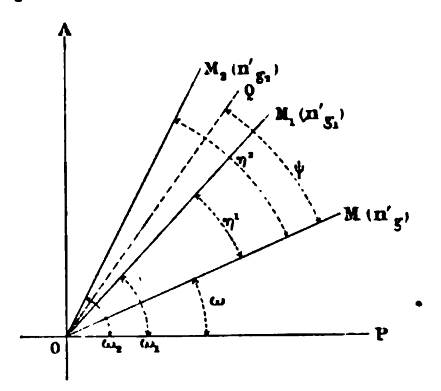


Fig. 26.

comme si elles possédaient une ellipse (E') d'intersection par la plaque mince et, dans le cas affirmatif, quels sont les axes de cette ellipse.

Dans ce but, posons (fig. 26)

$$I = \frac{\pi^2 (m_1 + m_2)^2}{\lambda^2} B^2 \sin^2 2\omega$$

$$\omega_1 = \omega + \eta_1 \qquad \omega_2 = \omega + \eta_2$$

Pour une valeur quelconque de ω, l'équation de condition (4) nous donne

$$(m_1 + m_2) B \sin 2\omega = m_1 B_1 \sin 2\omega_1 + m_2 B_2 \sin 2\omega_2$$

ou

$$(m_1 + m_2) B \sin 2\omega = m_1 B_1 \sin 2(\omega + \eta_1) + m_2 B_2 \sin 2(\omega + \eta_2)$$

Faisons successivement $\omega = o$ et $\omega = \frac{\pi}{2}$ nous avons nécessairement les relations :

$$(6) \quad \left| \begin{array}{l} (m_1 + m_2) B = m_1 B_1 \cos 2\eta_1 + m_2 B_2 \cos 2\eta_2 \\ m_1 B_1 \sin 2\eta_1 + m_2 B_2 \sin 2\eta_2 = o \end{array} \right.$$

Cherchons maintenant la forme de la courbe obtenue en composant les ellipses (E') des deux minéraux juxtaposés de telle façon que, suivant une direction O P quelconque (fig. 26), nous ajoutions les rayons vecteurs ρ_1 et ρ_2 de ces ellipses, en les prenant proportionnels aux épaisseurs m_1 et m_2. Le rayon vecteur de la courbe cherchée ρ aura une valeur donnée par l'égalité.

$$(m_1 + m_2)\,\rho = m_1\,\rho_1 + m_2\,\rho_2$$

Or, en rapportant les ellipses (E'_1) et (E'_2) à leurs axes, on a sensiblement[1], pour

$$A_1 = n'_{g1} + n'_{p1} \qquad A_2 = n'_{g2} + n'_{p2}$$
$$B_1 = n'_{g1} - n'_{p1} \qquad B_2 = n'_{g2} - n'_{p2}$$
$$\rho_1 = \frac{A_1}{2} + \frac{B_1}{2}\cos 2\,(\omega + \eta_1)$$
$$\rho_2 = \frac{A_2}{2} + \frac{B_2}{2}\cos 2\,(\omega + \eta_2)$$

On en déduit

$$(m_1 + m_2)\,\rho = m_1\,\rho_1 + m_2\,\rho_2 = \frac{m_1\,A_1 + m_2\,A_2}{2}$$
$$-\sin 2\omega\,\frac{(m_1\,B_1 \sin 2\,\eta_1 + m_2\,B_2 \sin 2\,\eta_2)}{2} + \cos 2\omega\,\frac{(m_1\,B_1 \cos 2\,\eta_1 + m_2\,B_2 \cos 2\,\eta_2)}{2}.$$

Le terme en sin 2 ω est identiquement nul, à cause des équations de condition (6); et le terme en cos 2 ω a pour coefficient $\frac{(m_1 + m_2)\,B}{2}$.

On a donc

$$(m_1 + m_2)\,\rho = \frac{m_1\,A_1 + m_2\,A_2}{2} + \frac{(m_1 + m_2)\,B}{2}\cos 2\,\omega$$

ou

$$\rho = \frac{A}{2} + \frac{B}{2}\cos 2\,\omega$$

en posant

$$A = \frac{m_1\,A_1 + m_2\,A_2}{m_1 + m_2}$$

Le lieu cherché est donc sensiblement une ellipse et, pour tous les angles ω, les intensités lumineuses d'un minéral, qui en serait doué, seraient précisément celles des plages complexes dont nous

[1] Cs. Mallard. *Minéralogie physique*, II, 269.

avons étudié plus haut les propriétés. Cette ellipse est rapportée à ses axes; OM en représente l'axe n_g'

Posons

$$\eta_2 - \eta_1 = 2\,\varphi \qquad MOQ = \Psi$$

D'où l'on tire

$$\eta_1 = \Psi - \varphi$$
$$\eta_2 = \Psi + \varphi$$

De l'équation de condition

$$m_1\, B_1 \sin 2\,\eta_1 + m_2\, B_2 \sin 2\,\eta_2 = o$$

on déduit

$$\operatorname{tg} 2\,\Psi = \operatorname{tg} 2\,\varphi \frac{m_1\, B_1 - m_2\, B_2}{m_1\, B_1 + m_2\, B_2}$$

On peut évidemment étendre ces conséquences à un nombre quelconque de corps composants, d'épaisseur m_1, m_2, m_3, etc., et de biréfringence B_1, B_2, B_3.

On retrouve ainsi l'approximation signalée par M. Mallard [1], qui se résume pour un mélange quelconque de minéraux, dans la composition, suivant une direction quelconque, des rayons vecteurs, des ellipsoïdes élémentaires. Mais il convient de ne pas oublier que cette approximation suppose les postulata que nous avons cherché à mettre en évidence plus haut : des corps très peu biréfringents et des lamelles extraordinairement minces, enfin une biréfringence totale de la section n'équivalant pas à un retard de $\frac{1}{5}\lambda$.

Les ellipses (E') des corps composants sont identiques. — Quand on étudie deux séries de lamelles d'un même minéral, juxtaposées par hémitropie, et que l'on se borne à étudier les sections appartenant à la zone de symétrie perpendiculaire à la face d'association, les ellipses (E') des deux corps juxtaposés sont superposables. Tel est le cas de la zone perpendiculaire à g^1 dans les feldspaths tricliniques.

Alors, on a $B_1 = B_2$, et les équations (2) et (3) (page 74) deviennent :

$$\operatorname{tg} 2\,\omega = \infty \qquad \varepsilon = \frac{\pi}{4} \qquad \omega = \frac{\pi}{4} \pm n\,\frac{\pi}{2}$$

$$\operatorname{tg} 2\,\omega' = o \qquad \varepsilon' = o \qquad \omega' = \pm n\,\frac{\pi}{2}$$

[1] Cs. Mallard : *Minéralogie physique*, p. 270 et suivantes.



Si donc on compte les angles à partir de la bissectrice de l'angle (n'_{g_1}) O (n'_{g_2}), l'éclairement commun aux deux corps composants et aux plages complexes se produira quand le plan principal du polariseur sera à 45° de la bissectrice, qui coïncide avec la trace de la macle, ou lui est perpendiculaire : suivant cette bissectrice et sa perpendiculaire, il y aura éclairement commun des deux corps composants et extinction relative des plages complexes ; cette extinction sera totale pour les points où l'on a $m_1 = m_2$.

Applications pratiques. — *Détermination de la biréfringence d'une section quelconque comportant un retard inférieur à* $\frac{1}{5}\lambda_j$. Si l'on a, juxtaposées en plaque très mince, une section de biréfringence connue B et une autre section de biréfringence inconnue X, on peut déterminer, par deux mesures d'angles, la valeur X.

On amènera successivement à l'extinction chacun des deux corps, et au moyen du mica quart d'onde, on aura soin de mesurer les extinctions se rapportant par exemple aux axes n_g'.

On connaîtra ainsi l'angle M_1 O $M_2 = 2\varphi$ (fig. 23). Puis on amènera les deux minéraux à une de leurs positions d'éclairement commun, par exemple à celle qui correspond à l'angle $\omega = \varepsilon$ et l'on mesurera $\varepsilon \pm \varphi$.

Les équations (1) donnent alors

$$X = \frac{B \sin 2(\varepsilon - \varphi)}{\sin 2(\varepsilon + \varphi)} \text{ ou } X = \frac{B \sin 2(\varepsilon + \varphi)}{\sin 2(\varepsilon - \varphi)}$$

suivant que le corps X est plus ou moins biréfringent que le corps B.

Détermination de la biréfringence B d'une section composée de deux minéraux B_1 et B_2, d'épaisseurs m_1 et m_2.

Nous avons posé (page 79) les deux équations de condition

$$(m_1 + m_2) B = m_1 B_1 \cos 2\eta_1 + m_2 B_2 \cos 2\eta_2$$
$$0 = m_1 B_1 \sin 2\eta_1 + m_2 B_2 \sin 2\eta_2$$

Elevons au carré et ajoutons membre à membre ;

$$(m_1 + m_2)^2 B^2 = m_1^2 B_1^2 + m_2^2 B_2^2 + 2 m_1 m_2 B_1 B_2 \cos 2(\eta_2 - \eta_1)$$

équation qui donne la valeur cherchée.

Si l'on se trouve dans le cas où $B_1 = B_2$, cette valeur se simplifie :

$$B = B_1 \frac{\sqrt{m_1^2 + m_2^2 + 2\, m_1\, m_2 \cos 2\,(\eta_2 - \eta_1)}}{m_1 + m_2}$$

Si enfin l'on a $m_1 = m_2$

$$B = B_1 \cos(\eta_2 - \eta_1) = B_1 \cos 2\,\varphi$$

Application au microcline. — Grâce à la théorie, qui vient d'être exposée, on peut rigoureusement démontrer que l'orthose, qui paraît intimement associé au microcline, n'existe pas en qualité de minéral réellement individualisé; cet orthose spécial est un composé submicroscopique de lamelles hémitropes de microcline. En effet, quelle que soit l'orientation des sections, en plaque très mince, des nombreux microclines que nous avons étudiés, il existe toujours quatre positions à angle droit $(\varepsilon + n\frac{\pi}{2})$ pour lesquelles l'association de microcline et d'orthose paraît entièrement homogène et d'égale intensité lumineuse entre les nicols croisés.

Il n'y a donc que deux corps à orientation optique différente en présence, et ces deux corps sont le cristal fondamental de microcline et ce même cristal retourné de 180° autour d'un axe d'hémitropie perpendiculaire à g^1. Cet axe sert en effet et aux lamelles maclées suivant la loi de l'albite, et à celles se touchant suivant une des face de la zone ph^1. Dans le microcline, cette seconde macle, analogue à celle de la péricline, paraît avoir pour face d'association une face voisine de h^1, intermédiaire entre h^1 et $a^{\frac{1}{2}}$.

Si l'on étudie spécialement les sections de la zone perpendiculaire à g^1 et notamment la face p, le quadrillage du microcline est à angle droit; l'éclairement commun se produit alors à 45° des traces d'hémitropie, et les filonnets d'albite, plus biréfringents suivant p, ressortent en blanc sur le fond grisâtre uniforme du microcline.

Les quatre autres positions d'égale intensité lumineuse des lamelles de microcline $\left(\varepsilon' + n\frac{\pi}{2}\right)$ coïncident ici avec la direction même des mailles du réseau quadrillé. Alors les parties où les lamelles hémitropes se superposent en quantités égales paraissent éteintes et simulent les extinctions de l'orthose parallèlement à

pg^1. On peut expliquer en outre par des mélanges en proportions inégales, d'une part les passages gradués des ombres aux parties éclairées, d'autre part les anomalies signalées par M. Des Cloizeaux dans quelques-uns des orthoses[1] associés au microcline de Lipowaia (Oural) et de Broye près Marmagne (Saône-et-Loire). Ces anomalies consistent dans l'extinction dudit orthose, taillé suivant p, à 4 ou 5° de la trace g^1.

Il est facile de calculer que, dans la face p, l'association à parties égales de microcline maclé et non maclé, qui simule l'orthose, présente une biréfringence égale à celle du microcline multipliée par $\sqrt{\frac{3}{4}}$ puisque l'angle 2φ est ici égal à 30° (formule $B = B_1 \cos 2\varphi$).

Application aux lamelles hémitropes des feldspaths tricliniques. — Les lamelles hémitropes des feldspaths tricliniques, notamment les belles plages à larges macles des anorthites, se prêtent aisément à une vérification du problème général. Elle permet de distinguer facilement les lamelles hémitropes suivant la loi de l'albite et suivant celle de Carlsbad; l'enchevêtrement des deux macles est souvent très compliqué, et l'éclairement commun d'un des systèmes donne une vue nètte de l'autre.

On peut constater expérimentalement de la même façon que l'axe de rotation de la macle de la péricline se confond sensiblement avec celui de la macle de l'albite. Cependant le procédé est assez sensible pour que, l'un des systèmes de lamelles hémitropes étant effacé, l'autre s'estompe encore très légèrement.

Enfin la même méthode permet de constater que, dans la majeure partie des cas, les lamelles hémitropes d'un système déterminé appartiennent toutes à un seul feldspath.

Cependant l'exemple contraire s'est présenté parfois à nous, notamment dans les plages d'anorthite du gabbro d'Husaas (Norwège). L'exemple suivant qui s'applique une section de la zone perpendiculaire à g^1, rend compte des faits observés. Les bandes hémitropes 1, 2, 1, 2, suivant la loi de l'albite, s'éclairent uniformément à 45° La bande 3, qui présente une série de petites

[1] Des Cloizeaux. *Caractère du microcline* (*Annales de chimie et de physique*, 5e série, t. IX, 1866, p. 15 du tirage à part).

lamelles hémitropes suivant la loi de la péricline, prend à 45° une teinte également uniforme, mais nettement différente de l'ensemble voisin.

Applications aux bandes concentriques des feldspaths. — L'examen des nombreux feldspaths, contenus dans les roches, montre que généralement ils sont composés par juxtaposition de bandes concentriques. Or, dans ces diverses bandes, les propriétés optiques et notamment les extinctions varient irrégulièrement, bien que l'orientation cristallographique y paraisse la même, comme l'attestent la permanence de la forme extérieure et le prolongement fréquent des macles au travers des bandes.

M. Tschermak a expliqué le fait en admettant une variation dans la composition chimique des bandes, variation qui dépend d'ailleurs des proportions successivement diverses d'albite et d'anorthite, associés dans les bandes concentriques.

Mais ces bandes se présentent dans l'orthose, dans l'albite, dans l'anorthite chimiquement purs ; l'explication précédente ne peut donc s'appliquer à tous les cas.

La méthode des intensités lumineuses égales permet tout au moins d'approfondir l'observation des faits.

Premier cas fréquent. — Il existe 4 positions à angle droit d'égale intensité lumineuse, dans lesquelles les cristaux zonés paraissent entièrement homogènes. Non seulement les bandes concentriques et les facules disparaissent, mais encore l'effacement se produit avec celui des lamelles hémitropes suivant la loi de l'albite.

Deuxième cas également fréquent. — Les bandes concentriques s'effacent toutes simultanément dans le cristal fondamental, mais ces positions d'égale intensité lumineuse ne coïncident plus avec l'effacement des lamelles hémitropes.

Troisième cas, assez rare. — On ne trouve aucune position dans laquelle les bandes concentriques prennent toutes la même intensité lumineuse.

Pour faciliter l'interprétation théorique de ces divers cas, je rappellerai que, dans nos expériences de reproduction artificielle,

nous avons vu, M. Fouqué et moi, les microlithes feldspathiques élémentaires, allongés suivant l'arête pg^1, se grouper tantôt radialement en sphérolithes, tantôt parallèlement en faisceaux préparant alors les grands cristaux. Il convient donc de se représenter un cristal de feldspath comme un agrégat de microlithes, allongés tous suivant une direction unique parallèle à pg^1, et tantôt orientés optiquement dans le même sens, tantôt retournés de 180° par rotation autour d'un axe perpendiculaire à g^1. L'association si fréquente des macles de l'albite et de la péricline confirme cette observation.

Quand le feldspath ne présente pas de bandes concentriques, sa composition est homogène.

Sinon, dans le *premier cas*, on peut augurer qu'il n'y a que deux corps optiquement dissemblables en présence, et que ces corps sont, comme dans le microcline, les microlithes du feldspath fondamental et ces mêmes microlithes retournés par hémitropie. Il y a donc dans ce cas incertitude pour toutes les extinctions autres que celle de la face g^1 ; et les diverses variétés d'albite récemment étudiées, notamment celles de quatre-Ribeyras que M. Fouqué a si complètement traitées[1], semblent fournir la preuve que ce cas est fréquemment réalisé dans la nature.

Le *deuxième cas* paraît exiger l'absence d'hémitropie submicroscopique et, sans prouver la théorie de M. Tschermak, il ne lui est pas opposé. La méthode des éclairements communs prouve qu'il n'y a alors en présence que deux corps optiquement différents et que le second de ces corps ne se confond pas, comme précédemment, avec les lamelles hémitropes.

Enfin le *troisième cas* suppose plus de deux corps composant, ou tout au moins deux corps et des retournements hémitropes.

[1] *Bull. Soc. Min.*, t. VI, 1883, 196.

CHAPITRE V

UTILISATION DE LA LUMIÈRE CONVERGENTE

Le dispositif le plus commode, pour appliquer la lumière convergente à l'étude des plaques très minces, est celui qui a été signalé par von Lasaulx [1]. Il consiste à surmonter le polariseur d'un condenseur à double lentille, à utiliser les objectifs à fort grossissement et, après avoir amené au milieu du champ la section qu'on étudie, à supprimer momentanément l'oculaire. L'image est d'autant plus nette qu'elle est plus petite, et malgré ses petites dimensions, on en saisit tous les détails. On peut la projeter au moyen de la chambre claire sur un papier quadrillé et la dessiner avec exactitude.

M. E. Bertrand [2] a proposé d'observer l'image ainsi obtenue avec un oculaire à très faible grossissement, ce qui permet de lui appliquer les procédés habituels de mesure, soit au moyen d'un réticule à fil mobile, soit avec un micromètre oculaire. Mais le procédé de M. E. Bertrand, qui donne des résultats excellents avec des plages remplissant le champ du microscope, cesse d'être applicable lorsque la section à l'étude est de très petite taille et entourée d'autres plages biréfringentes. Au contraire, le procédé von Lasaulx permet à l'œil d'isoler, parmi toutes les images, celles qui proviennent du minéral qu'on détermine.

Le condenseur à double boule peut être conservé en tout temps ; avec les oculaires à grossissement normal, il permet les observations en lumière sensiblement parallèle, de telle sorte qu'en

[1] Klein et, à sa suite, von Lasaulx.

[2] *Bull. Soc. Min.*, 22, 1878.

somme il suffit d'ôter l'oculaire pour voir si les images en lumière convergente se produisent. La manipulation est très rapide et courante.

Il convient de considérer successivement les données que nous fourniront en plaque mince les courbes incolores (ou noires entre les nicols croisés) et les courbes d'égal retard (ou isochromatiques en lumière blanche). Ces dernières se montrent assez rarement dans les plaques minces et seulement dans les minéraux très biréfringents.

Courbes noires. — Les courbes noires sont au contraire très fréquentes et donnent des indications précieuses sur la position du plan des axes optiques et sur leur angle approximatif.

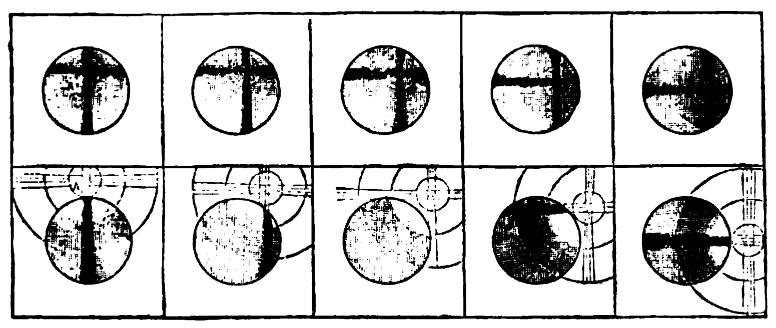
Cristaux à un axe. — Dans le cas où l'axe optique unique perce le champ du microscope, on voit une croix noire dont les bras restent parallèles aux plans principaux des nicols croisés, pendant la rotation de la platine du microscope. La condition pour que l'axe optique soit vu dans le champ du microscope, est que les rayons qui traversent la plaque mince, parallèlement à cet axe, puissent sortir de l'objectif. En appelant θ l'angle de l'axe optique avec la normale à la plaque (qui se confond avec l'axe du microscope), θ_v l'angle avec cette même normale des rayons qui, après avoir suivi la direction de l'axe optique, ont pénétré dans l'objectif, n et n_v les indices du minéral et du verre, de l'objectif on a

$$n \sin \theta = n_v \sin \theta$$

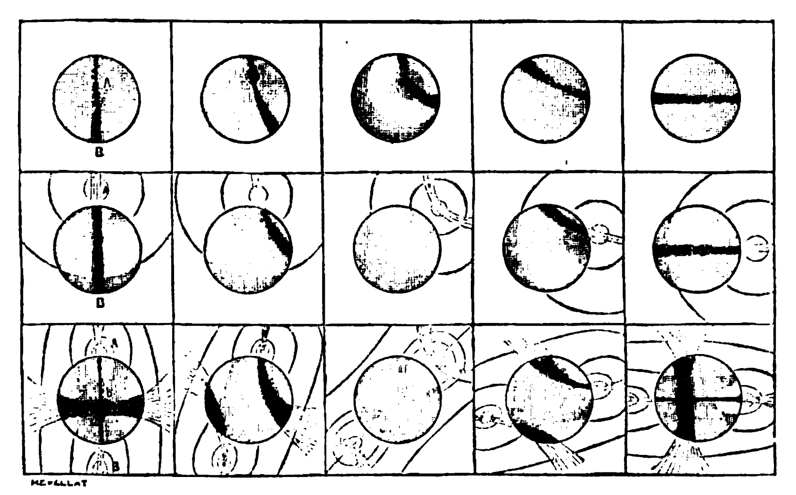
Dans l'espèce n, est égal à l'indice ordinaire n_o de la substance; on peut considérer n_v comme approchant de 1,6. Enfin θ_v ne dépasse guère 35° à 40° avec les objectifs ordinaires.

Qand l'axe optique sort du champ du microscope, on voit passer successivement des barres noires rectilignes qui se déplacent parallèlement aux sections principales des nicols, sans subir de rotation. Lorsqu'une de ces barres passe par le centre du champ (croisée du réticule), on est assuré qu'elle représente la projection de l'axe optique unique du minéral.

Cette propriété permet de déterminer dans tous les cas le signe d'un minéral uniaxe. On sait qu'introduit à 45° N.-E. (p. 46), le mica quart d'onde disloque la croix noire et fait naître deux points noirs dans les cadrans N.-O. si la substance est positive, N.-E. si elle est négative. Quand on ne peut observer les points, on



Cristaux à un axe.



Cristaux à deux axes.

FIG. 27.

détermine en lumière convergente celle des directions d'extinction qui correspond à la projection de l'axe optique, et on cherche ensuite son signe, en lumière parallèle ; c'est toujours celui du minéral lui-même.

Dans le cas de minéraux peu biréfringents, on peut remplacer avantageusement le mica quart d'onde, en lumière convergente

par l'emploi d'une plaque de quartz sensible, également introduit à 45° des branches de la croix noire. Si la direction positive du quartz est N.-E., les deux cadrans N.-E. et S.-O. montent dans la gamme de Newton et virent de la teinte sensible au bleu, les deux cadrans N.-O. et S.-E. baissent et virent vers le jaune, quand le minéral à l'étude est positif. L'inverse a lieu quand il est négatif. Les deux points noirs du mica quart d'onde correspondent en somme à une compensation et les cadrans adjacents à une addition.

Lorsque la plaque est sensiblement parallèle à l'axe optique unique, il se produit des phénomènes analogues à ceux que donnent, dans les cristaux à deux axes, les plaques perpendiculaires à une normale optique autour de laquelle les deux axes seraient très écartés : deux hyperboles équilatères noires paraissent se disloquer, par rotation de la platine du microscope. On verra plus loin les phénomènes dus aux courbes isochromatiques dans le même cas.

Cristaux à deux axes. — La condition, pour qu'une bissectrice ou un axe optique perce le champ du microscope, est analogue à celle que nous avons posée plus haut.

Pour un axe optique, elle est donnée par l'équation

$$n_m \sin \theta = n_v \sin \theta_v$$

On sait que les courbes noires sont alors des hyperboles équilatères, qui se réduisent à deux droites, lorsque le plan des axes optiques est parallèle à l'une des sections principales des nicols croisés.

La recherche de la position du plan des axes optiques est facile lorsque la trace d'un axe optique est visible. Les hyperboles pivotent autour de cette trace en sens inverse de la rotation qu'on imprime à la platine du microscope. On amène l'hyperbole visible à avoir sa tangente en ce point à 45° des fils du réticule, et alors la trace du plan des axes lui est perpendiculaire; la bissectrice la plus voisine est située du côté de la convexité de l'hyperbole.

Si les axes optiques échappent au champ du microscope, mais qu'une des bissectrices y apparaisse, on en est prévenu par la production d'une croix noire qui se disloque en deux hyperboles

par rotation de la platine. On provoque la formation de cette croix noire, puis sa dislocation en tournant légèrement dans le sens des aiguilles d'une montre ; si la ligne qui joint les sommets des hyperboles est alors N.-O., S.-E., le plan des axes optiques était précédemment E.-O. ; si au contraire elle est N.-E., S.-O., ce plan était N.-S.

Quand ni les bissectrices, ni les axes optiques ne percent le champ du microscope, on voit en général passer des barres noires incurvées et douées d'un certain mouvement de rotation. Cette apparence permet de distinguer encore si le minéral est à un ou à deux axes.

Mais le passage de barres noires presque parallèles à elles-mêmes ne suffit pas toujours à augurer que le minéral est uniaxe : en effet, quand l'angle des axes optiques n'est pas très grand et que la bissectrice aiguë fait un grand angle avec l'axe du microscope, on voit passer des branches d'hyperboles qui se confondent presque avec leurs asymptotes.

En résumé, quand les courbes noires sont centrées par rapport au centre du champ du microscope, la plaque mince est perpendiculaire à un des trois indices principaux, n_g, n_m, n_p.

Quand la symétrie se réduit à faire coïncider, à un moment donné de la rotation, une branche des courbes noires avec un des fils du réticule, la plaque mince est perpendiculaire à un plan principal d'élasticité, contenant deux des indices principaux.

Nous allons étudier en détail ce cas de symétrie et chercher les différentes apparences qu'il peut présenter [1].

1° La plaque est perpendiculaire au plan n_g n_p des axes optiques et sa normale tombe entre la bissectrice et l'un des axes optiques. L'image ne présente aucune difficulté d'interprétation ; la dislocation et l'incurvation des hyperboles sont nettes ; lorsque la barre noire coïncide avec un des fils du réticule (plans principaux des nicols), elle jalonne la trace du plan des axes optiques.

[1] Pour figurer les images obtenues, il convient de relier invariablement les trois points A B O (A, B, traces apparentes des axes optiques, O, centre du réticule), puis de donner à leur ensemble une rotation autour de O. A chaque position, on prend le milieu M de la droite A B, et par M on mène deux droites parallèles aux fils du réticule ; ces deux droites sont les asymptoles des hyperboles équilatères passant par A et B.



On distingue très nettement le côté de l'axe optique autour duquel pivote la barre noire, du côté de la bissectrice; on peut dès lors se rendre compte de l'orientation des secteurs déterminés par les branches de la croix noire, et le mica quart d'onde permet de déterminer le signe de la bissectrice la plus voisine.

2° La plaque est encore perpendiculaire au plan n_g n_p ; mais sa normale tombe entre la normale optique et un des axes. Les apparences sont analogues à celles du cas précédent; mais si l'angle des axes optiques (autour de la bissectrice) est petit, la barre noire, parallèle au plan des axes, traversera le champ du microscope sans s'infléchir sensiblement; dans ce cas, il devient délicat de déterminer la direction du plan des axes et par suite l'orientation de la lame mince.

3° La plaque est perpendiculaire à l'un des plans (n_g n_m), (n_p n_m). Il est facile de voir que, dans ce double cas, la barre noire, une fois centrée, est perpendiculaire à la trace du plan des axes optiques. Quand la trace de la bissectrice ou de la normale optique est voisine du bord du champ, la courbe noire s'infléchit sensiblement, par rotation de la platine du microscope, et permet la recherche de la direction du plan des axes optiques.

Mais si le champ s'éloigne vers la trace n_m, la barre noire devient flou et reste sensiblement parallèle à elle-même.

Les plaques perpendiculaires à n_m, c'est-à-dire parallèles au plan des axes optiques, présentent un envahissement général de l'ombre, correspondant aux positions d'extinction en lumière parallèle; nous verrons plus loin que cette ombre efface des hyperboles équilatères colorées provenant des courbes d'égal retard.

Le mica quart d'onde inséré à 45° d'une croix noire, déterminée en lumière convergente par une rotation convenable d'une section biaxe, donne le plus souvent les mêmes apparences et les mêmes indications qu'avec les cristaux uniaxes. Sinon, il faut choisir une section sensiblement perpendiculaire à une bissectrice; si cette bissectrice est positive (n_g), la section contient alors les axes n_m et n_p; l'indice n_p correspond d'ailleurs à la trace du plan des axes optiques; on vérifie en lumière parallèle qu'il est négatif par rapport à n_m. On opérerait de même dans le cas où la section serait perpendiculaire à n_p; en résumé, la trace du plan des axes

optiques est, en lumière parallèle, de signe contraire à la bissectrice perpendiculaire à la plaque mince.

Si la dislocation des hyperboles ne les fait pas disparaître du champ, lorsque la trace du plan des axes optiques est portée à 45° des nicols, on a un moyen simple de mesurer approximativement l'angle $2O_v$ de ces axes, vus dans le verre de l'objectif [1].

On a en effet :

$$n_m \sin V = n_v \sin O_v = \sin E$$

V est l'angle vrai d'un axe optique avec la bissectrice supposée perpendiculaire à la plaque mince; E le même angle apparent dans l'air, O_v, dans le verre de l'objectif. Or $\sin O_v$ est proportionnel à la distance du centre du champ, au point où l'axe optique paraît le percer [2]. Soit δ_1 cette distance mesurée avec un micromètre oculaire, ou au moyen de la chambre claire

$$\delta_1 = K_1 \sin O_v$$

K_1 est une constante à déterminer une fois pour toutes avec le dispositif adopté, au moyen d'une substance optiquement connue, telle par exemple que la muscovite.

On voit, par tout ce qui précède, l'intérêt pratique qu'il y a, d'une part, à augmenter l'angle d'ouverture de l'objetif employé en lumière convergente, d'autre part et surtout à accroître l'indice de réfraction de la substance isotrope qui compose cet objectif.

Nous avons essayé, jusqu'à présent sans succès, d'obtenir des objectifs en blende ou en diamant. M. E. Bertrand a récemment annoncé qu'il avait fait construire par M. Werlein un objectif en fluit-glass très réfringent, dont le champ peut être considéré comme double de celui que permettait de voir l'ancien objectif n° 5 de Nachet. On peut, dès lors, mesurer directement, en plaque mince, l'écartement des axes optiques de toutes les substances autour de la bissectrice aiguë ; l'écartement autour de la normale optique est même mesurable pour un grand nombre de corps.

Avec ces objectifs à grande ouverture, il est nécessaire d'utiliser un éclaireur spécial et d'immerger le dessus et le dessous de la préparation dans des liquides très réfringents; l'immersion ne

[1] E. Bertrand dans Mallard. *Minér. physique*, II, 418.
[2] Mallard. *Bull. Soc. Minér.* V, 77 (1882).



modifie pas les angles apparents, mais elle permet aux rayons lumineux très divergents de passer plus facilement de l'éclaireur dans la plaque mince et de la plaque mince dans l'objectif. On ne peut se fier à ces objectifs pour l'étude des dispersions ; ils sont trop peu achromatiques.

Lorsqu'on rencontre une section perpendiculaire à une des bissectrices, et que les hyperboles sortent du champ du microscope, durant la rotation de la platine, il paraît souvent difficile de décider si l'on a affaire à la bissectrice aiguë ou obtuse du minéral. Une mesure très simple permet presque toujours de décider la question et d'avoir une notion sur l'angle d'ouverture des axes optiques, *même avec les objectifs ordinaires.*

Considérons en effet les différentes hyperboles équilatères qui se développent pendant la rotation de la plaque mince ; elles ont toutes pour asymptotes les plans principaux des nicols croisés, représentés par les fils du réticule ; et elles passent toutes par la trace (non apparente) des axes optiques.

En coordonnées polaires, et rapportées pour l'origine des angles ω à l'une de leurs asymptotes, ces hyperboles ont pour équation :

$$\rho^2 \sin 2\,\omega = r^2$$

Elles passent toutes par la trace des axes optiques, correspondant à des valeurs de ρ que nous noterons ρ'. Si nous donnons à ω une valeur ω' telle que l'hyperbole équilatère soit tangente, en son sommet, à un cercle concentrique de rayon connu r', on aura :

$$\rho'^2 \sin 2\,\omega' = r'^2$$

Or, ρ' est proportionnel à sin O'_v et r' au sinus d'un angle connu.

Pratiquement on peut choisir pour diamètre du cercle r' l'écartement apparent des axes optiques de la muscovite, et on repère ce cercle soit au moyen d'un diaphragme de grandeur convenable, soit par une glace mince à faces parallèles insérée entre l'analyseur et l'objectif, et portant gravés quelques cercles concentriques.

Supposons que l'indice de réfraction de l'objectif soit 1,6 et admettons que l'angle apparent dans l'air des axes du mica blanc de comparaison soit : 2E = 72°.

L'angle $2O_v$ de ce mica blanc sera donné par la formule

$$1{,}6 \times \sin O_v = \sin 36^\circ$$

Si nous avons affaire à un minéral dont les axes aient un écartement apparent dans le verre de 2O′, nous pourrons calculer sin O′$_v$:

$$\sin^2 O'_v \sin 2\omega' = \sin^2 O_v$$

d'où

$$\sin O'_v = \frac{\sin 36^\circ}{1,6}\sqrt{\frac{1}{\sin 2\omega'}},$$

Les tables suivantes résument les données numériques pratiquement utiles.

ANGLE ω' OBSERVÉ	VALEURS O'_v POUR n_v—1,6	CORRESPONDANT AUX ANGLES VRAIS V POUR $n_m = 1,5$	$n_m = 1,7$	$n_m = 1,8$	$n_m = 1,9$	$n_m = 2$
45°	21°30′	23°	20°	19°	18°	17°
30°	23°	25°	22°	20°30′	19°30′	18°30′
25°	25°	26°30′	23°	22°	20°30′	19°30′
20°	27°	29°	25°30′	24°	22°30′	21°30′
15°	31°	33°30′	29°	27°30′	26°	24°30′
10°	39°	42°	36°	34°	32°	30°
8°	44°30′	48°	41°	38°30′	36°	34°
7°	48°	53°	44°30′	41°30′	39°	36°30′
6°	53°30′	59°	49°	45°30′	42°30′	40°
5°	62°	70°	56°	51°30′	48°	45°

Pour trouver l'angle ω′, on tourne la platine du microscope jusqu'à ce que la croix noire soit bien formée ; on lit la graduation correspondante. Puis on disloque la croix noire et on fait naître les hyperboles, par une rotation dans un sens quelconque, jusqu'à ce que ces hyperboles soient tangentes au cercle de comparaison. La lecture du limbe gradué donne l'angle de rotation ω′.

On voit que, dans les conditions pratiques que nous avons supposées plus haut, la bissectrice considérée sera celle de l'angle aigu des axes optiques, tant que ω′ dépassera 10°, du moins pour les minéraux dont l'indice de réfraction moyen dépasse 1,5. On peut même, si l'on connaît cet indice, évaluer approximativement l'angle 2V dans tous les cas, par la lecture de ω′.

Courbes isochromatiques ou d'égal retard. — Les courbes d'égal retard n'apparaissent en plaque mince que dans les miné-

raux très biréfringents, et le plus souvent on n'aperçoit que les premières de ces courbes correspondant aux retards 1, 2, 3 λ.

Ce qui va suivre ne s'applique donc qu'aux minéraux très biréfringents, tels que le mica noir, l'épidote, le sphène, le zircon, le rutile, etc. Les formules ne sont qu'approchées, mais elles donnent encore des indications utiles, car nous avons vu que, lorsque la biréfringence dépasse une certaine limite, les méthodes ordinaires sont peu applicables.

Cristaux à un axe. — Dans les cristaux à un axe [1], taillés perpendiculairement à cet axe, la distance δ_2 de la première frange d'interférence au centre est à peu près égale à

$$\delta_2 = K_2\, n_0 \sqrt{\frac{\lambda}{e\,B}}$$

n_0 est l'indice ordinaire, e l'épaisseur de la plaque mince, B la biréfringence maxima $n_0 - n_e$ ou $n_e - n_0$, λ la longueur d'onde de la lumière monochromatique employée. Enfin K_2 est une constante à déterminer une fois pour toutes avec le dispositif employé, en opérant sur un minéral dont on connaît les constantes optiques. Si donc on possède une des données n_0 ou B, on peut en déduire l'autre approximativement. L'erreur devient très forte, quand δ_2 est trop grand.

Cristaux à deux axes. — Quand, le cristal étant biaxe, on trouve une section perpendiculaire à un des axes optiques, la même équation (sous la réserve des mêmes remarques) prend la forme :

$$\delta_3 = K_3\, n_m \frac{\lambda}{e\,B \sin 2\,V}$$

B est toujours la biréfringence maxima, n_m l'indice moyen, V le demi-angle des axes optiques.

On voit qu'ici, il y a trois inconnues, n, 2V et B ; l'une d'elles (V) est souvent déterminée par une mesure δ_1.

Lorsque la section, perpendiculaire à une bissectrice, montre en même temps les axes optiques et des courbes d'égal retard, on

[1] MALLARD. *L. c.*, p. 205, II.

peut avoir immédiatement une notion sur la biréfringence de cette section qui est

$$B' = n_g - n_m \text{ ou } B'' = n_m - n_p$$

suivant le signe de la bissectrice aiguë du cristal, à laquelle on a affaire. Si, entre un axe optique et la bissectrice, il y a un nombre entier m de franges visibles, la biréfringence du centre de l'image (qui est la même qu'en lumière parallèle) est comprise entre $m\,\lambda$ et $(m + 1)\,\lambda$[1].

$$m\,\lambda < (e\,B' \text{ ou } e\,B'') < (m + 1)\,\lambda$$

Les plaques parallèles à l'axe optique d'une substance à un axe, ou au plan des axes optiques, donnent, dans les minéraux très biréfringents, des courbes isochromatiques dessinant des hyperboles équilatères.

Dans les cristaux à un axe, les hyperboles ont pour asymptotes les droites à 45° de la projection de l'axe optique; dans les cristaux à deux axes, les asymptotes sont les bissectrices de l'angle droit $n_g\, n_p$.

Les courbes isochromatiques sont rarement assez rapprochées, dans les minéraux vus en plaques très minces, pour permettre l'emploi des méthodes habituelles usitées en minéralogie pour la détermination en lumière convergente des signes des bissectrices ; nous rappellerons cependant que le plus pratique de ces procédés consiste à introduire un biseau de quartz parallèle de façon que son axe se superpose à la trace du plan des axes optiques qui est $n_g\, n_p$; quand cette trace coïncide avec le plus grand indice n_g (ce qui suppose la bissectrice, perpendiculaire à la plaque, négative et coïncidant avec n_p), les courbes isochromatiques se resserrent et paraissent courir vers le centre de l'image, à mesure que l'introduction du biseau augmente l'épaisseur de l'ensemble biréfringent traversé par la lumière. Il semble qu'il y ait augmentation successive de l'épaisseur de la plaque mince.

Il faut remarquer que cette marche des courbes est toujours

[1] Cette remarque peut s'appliquer à la recherche approximative de eX pour toutes les sections qui montrent la trace d'un axe optique, qu'elles soient ou non perpendiculaires à une bissectrice : le nombre de m franges, compris entre l'axe optique et la croisée du réticule, donne approximativement la valeur eX.

délicate à observer en plaque mince, même avec des minéraux très biréfringents : voici, dans le cas supposé, les précautions à prendre pour éviter les erreurs. On dispose à 45° N.-E. la trace du plan des axes optiques ; on ne voit généralement en lumière monochromatique que la naissance des premiers anneaux entourant la trace des axes optiques. Le biseau de quartz est introduit de façon à ce que son axe n_g soit N.-E. et parallèle au plan des axes optiques ; si la plaque mince contient l'indice n'_g de la substance à l'étude, les lemniscates s'approchent du centre en entrant dans le champ suivant la direction perpendiculaire au plan des axes optiques ; elles forment un ∞ passant par le centre, puis se disloquent en deux anneaux courant vers la trace des axes optiques. Si la plaque mince contient au contraire n'_p, ce sont ces anneaux qui se rapprochent du centre, s'y touchent, forment un ∞, puis les lemniscates une fois ouvertes, s'éloignent du centre, et l'on constate cet éloignement par la fuite de leurs branches sur la perpendiculaire N.-O., au plan des axes optiques.

Dans le premier cas, la bissectrice perpendiculaire à la plaque mince est évidemment de signe contraire au quartz, c'est-à-dire n'_p ; dans le second, elle coïncide avec n'_g.

Remarques sur l'emploi de la lumière convergente dans les zones d'allongement. — La position du plan des axes optiques permet souvent de préciser le diagnostic d'une section douteuse. Ainsi, dans certains minéraux, le plan des axes est constamment perpendiculaire à la direction d'allongement favori ; tel est le cas de l'épidote (allongement ph^1, plan des axes g^1), de la wollastonite (mêmes données), du péridot (allongement pg^1, plan des axes h^1). Le cas contraire est offert par le pyroxène, l'amphibole, l'enstatite et l'hypersthène, dont le plan des axes est parallèle à l'arête d'allongement.

CHAPITRE VI

RÉFRINGENCE

Lorsqu'on abaisse suffisamment le condenseur du microscope en lumière naturelle, les minéraux des plaques minces prennent des reliefs très variables : les uns paraissent presque entièrement polis et laissent passer à peu près toute la lumière incidente même lorsqu'elle est sensiblement parallèle. Les autres semblent rugueux et dépolis; de nombreuses réflexions totales se produisent sur les aspérités de leur surface supérieure et le long des cassures ou des surfaces de contact; lorsqu'ils sont très réfringents, comme le sphène par exemple, ou le rutile, la lumière incidente parallèle passe à peine et la section devient obscure.

Le phénomène est malheureusement complexe et difficilement susceptible de mesure précise : en particulier les mesures photométriques échouent et l'on en est réduit à comparer entre eux les reliefs des divers minéraux contenus dans la lame mince; cette comparaison permet en général de les classer par ordre de réfringence moyenne.

Il est facile de se rendre compte du mécanisme des réflexions totales qui se produisent sur les aspérités des surfaces rugueuses que la confection normale des plaques minces fournit. On peut assimiler les cannelures laissées par les plus fins grains d'émeri à des demi-cylindres à section circulaire, gravés en creux dans le minéral à l'étude.

Un calcul très simple, appliqué par Sorby à l'étude des pores à gaz, montre, que dans une pareille cannelure, le rapport des surfaces éclairées à l'ensemble est précisément égal au rapport des indices de réfraction du minéral et du baume de Canada.



M. Thoulet a proposé de décoiffer la plaque mince et de l'immerger dans des liquides d'indice croissant. Outre la difficulté et la lenteur du procédé opératoire, il est délicat de saisir le moment précis où les rugosités s'effacent et l'on ne peut espérer de ce procédé même la seconde décimale des indices.

Il serait cependant très important de pouvoir mesurer, avec une précision suffisante, la grandeur absolue des axes n'_g n'_p de l'ellipse(E') des sections minérales en plaques minces ; si cette précision pouvait porter sur la troisième décimale, le procédé impliquerait un moyen de diagnostic précieux et rigoureux.

Nous allons rapidement passer en revue les diverses méthodes usitées en minéralogie pour la détermination des indices, en indiquant les tentatives d'application aux plaques minces et les raisons pour lesquelles ces tentatives n'ont pas encore abouti d'une façon réellement satisfaisante.

1° *Procédé du duc de Chaulnes.* — On sait que ce procédé consiste dans la mesure de l'épaisseur apparente et de l'épaisseur réelle d'une plaque transparente. Les calculs de M. Stokes ont donné la solution générale du problème dans le cas des minéraux biréfringents.

La grande difficulté consiste ici dans le peu d'épaisseur des lames minces et dans le défaut de précision des mesures que l'on obtient en transformant le mouvement lent du microscope en vis sphérométrique. Nous avons vu (page 60) qu'on ne peut se flatter d'obtenir, pour la mesure de l'épaisseur apparente, une précision de plus de $\frac{1}{30^e}$; par contre l'épaisseur réelle de la plaque mince peut être constatée avec une réelle précision par la mesure du retard d'un minéral témoin de biréfringence connue. Il n'en résulte pas moins de ces explications qu'on ne peut obtenir, par le procédé appliqué aux plaques minces, les indices à la seconde décimale près.

2° *Méthode du prisme.* — On peut tailler les plaques minces en biseaux présentant un angle de quelques degrés ; M. Offret a récemment imaginé et essayé un appareil de mesure appliqué à ces biseaux. La déviation apparente de la fente du collimateur est mesurée au moyen d'un réticule mobile, dont est munie une lunette astronomique.



L'angle du prisme peut être déterminé soit en polissant avec la lame des biseaux de quartz parallèle, soit directement en présentant l'angle aigu du biseau au faisceau lumineux venant du collimateur et mesurant l'écartement des deux images réfléchies.

M. Offret pense obtenir par ce procédé au moins la seconde décimale. Mais il comporte l'emploi d'un matériel spécial et ne pourra s'appliquer aux cristaux tout à fait microscopiques.

3° *Emploi des franges d'interférence.* — Aucune tentative n'a été faite, à notre connaissance, pour appliquer aux lames minces les procédés de Fresnel, de Billet ou de Talbot, qui permettent de déterminer les indices de réfraction au moyen du déplacement de franges d'interférence.

On sait qu'en appelant λ la longueur d'onde de la lumière choisie, n l'indice du minéral, e l'épaisseur de la lame mince, on a,

$$K\lambda = e\,(n - 1)$$

de sorte qu'après interposition de la lame sur un des parcours lumineux, chaque frange est déplacée d'une distance de K franges.

En supposant un indice de 1,6 et une épaisseur de $0^{mm},02$, le déplacement K serait, en lumière jaune, d'environ 21 franges et l'on voit qu'il serait difficile de le mesurer avec une précision suffisante pour obtenir la troisième décimale, abstraction faite de la mesure de l'épaisseur de la plaque mince.

4° *Réflexion totale.* — A priori, c'est évidemment aux méthodes basées sur la réflexion totale que l'on doit demander la solution du problème posé, puisqu'elles ne s'appuient que sur l'existence d'une surface réfléchissante et font abstraction de l'épaisseur de la plaque étudiée.

Elles supposent l'emploi d'un liquide d'immersion d'indice supérieur à celui du minéral. Actuellement et grâce aux recherches de M. E. Bertrand, on dispose de l'iodure de méthylène dont l'indice atteint 1,75 et permet d'aborder l'étude d'un grand nombre de minéraux. Ce liquide est en outre très mobile et d'un usage facile. On peut encore en élever l'indice de réfraction en y dissolvant du soufre, ou même un mélange de soufre et d'iode et on atteint ainsi un indice de 1,85.

La surface réfléchissante doit être très polie et très plane; dans

le cas des minéraux biréfringents, il est nécessaire qu'elle soit perpendiculaire à un des axes principaux d'élasticité optique, ce qui permet d'obtenir les trois indices principaux, au moyen de la lumière polarisée et d'un dispositif spécial. On admet, en effet, que, au moment où la réflexion totale se produit, l'onde plane lumineuse, se propage dans le cristal de telle façon qu'elle est à la fois perpendiculaire au plan d'incidence et à la surface réfléchissante.

La méthode du prisme est la plus précise de toutes; au moyen de précautions minutieuses, elle permet d'atteindre la quatrième décimale [1].

La méthode de M. Kohlrausch, qui mesure directement l'angle de réflexion totale dans les liquides même d'immersion, est susceptible de dispositifs très simples. Malheureusement l'indice de réfraction de ces liquides est très variable avec la température. Il faut une étude préalable de cette variation, un brassage rigoureux, une détermination précise de la température, qui compliquent singulièrement les mesures.

M. E. Bertrand a imaginé de substituer au prisme une lentille demi-boule qui donne une image réelle de la séparation entre l'ombre et la lumière, image que l'on observe au moyen d'un microscope, tandis qu'avec un prisme il faut employer une lunette astronomique.

L'appareil de M. E. Bertrand [2] est d'un fonctionnement simple et pratique; mais il est difficile à régler avec précision; la moindre variation de position de la surface réfléchissante produit une grave erreur de parallaxe; car une différence d'angle de 1′ représente en moyenne 3 décimales du quatrième ordre. Malgré les précautions les plus minutieuses, on ne peut guère compter sur une approximation de plus de deux unités afférentes aux décimales du troisième ordre.

Quoi qu'il en soit, voici la façon la plus simple de déterminer les constantes de l'appareil de M. E. Bertrand : on suppose l'axe de rotation situé dans la face plane de la lentille demi-boule; s'il

[1] GROTH. *Cristallographie physique*, 2e édition.
[2] *Bull. Soc. Min.* IX, 15 (1886), X, 140 (1887).

ne s'y trouve pas, l'erreur ne peut être corrigée. Soit λ la lecture de l'angle de réflexion totale pour une substance d'indice bien connue n; φ cet angle vrai, vu dans le verre de la demi-boule; N l'indice de ce verre.

On a

$$n = N \sin \varphi \qquad \varphi = \lambda \pm \delta$$

Pour une autre substance n', on aurait :

$$n' = N \sin \varphi' \qquad \varphi' = \lambda' \pm \delta$$

On en tire

$$\pm \operatorname{tg} \delta = \frac{n \sin \lambda' - n' \sin \lambda}{n' \cos \lambda - n \cos \lambda'}$$

et

$$N = \frac{n}{\sin (\lambda \pm \delta)}$$

Si l'on a pu faire d'autres lectures intermédiaires avec d'autres substances d'indices connus n'', n''', on peut, en partant de N et λ, calculer les corrections δ'', δ''', etc., qu'il faudrait faire subir aux lectures λ'', λ''' pour tomber juste, et on dresse un tableau des valeurs δ de corrections intermédiaires, en conservant N.

Avec un appareil aussi bien réglé que possible, on arrive à des erreurs λ d'environ 3′. Mais il faut y ajouter celles qui proviennent du polissage imparfait des plaques et de la difficulté qu'on éprouve à les appliquer rigoureusement sur la face plane de la demi-boule, même en les pressant en leur centre, à cause du plus ou moins de viscosité du liquide d'immersion.

On peut s'en convaincre en déplaçant ou en faisant tourner de 180° le cristal poli à l'étude. Il est rare que, de ce chef, une nouvelle erreur de 1 à 2′ ne se produise pas.

La précision de l'image ne compense pas la nécessité de faire passer rigoureusement l'axe de rotation par le plan de la lentille, nécessité que ne comporte pas l'emploi du prisme, qui d'ailleurs peut être facilement substitué à la lentille demi-boule. On dispose actuellement de verres qui atteignent jusqu'à 1,96 d'indice.

Toutes les méthodes précédentes supposent que le minéral à l'étude ait une certaine étendue. M. E. Bertrand a bien proposé de mettre le microscope de son appareil au point, non plus sur l'image donnée par la lentille demi-boule, mais sur le minéral

même, et d'isoler au moyen d'un diaphragme à fente rectiligne, parallèle à l'axe de rotation, le pinceau de lumière qui tombe sur l'œil. Mais le passage de l'ombre à la lumière devient incertain, et de plus le faible grossissement employé élimine toute application aux cristaux vraiment microscopiques.

On voit, par ce qui précède, que le problème de la détermination des indices de réfraction des minéraux en plaque mince attend encore une solution tout à fait satisfaisante. M. E. Bertrand a certainement préparé la voie qui y conduira.

Nous donnons ci-dessous la liste des indices de réfraction médians des principaux minéraux des roches; ces indices médians ont été déduits de mesures directes et sont égaux à $\frac{n_g + n_m + n_p}{3}$ ou à $\frac{n_e + 2\,n_o}{3}$.

TABLEAU DES INDICES MÉDIANS

	N		N
Tridymite	1,428	Antigorite	1,567
Fluorine	1,433	Autunite	1,568
Haüyne	1,46	Béryl	1,573
Völknérite	1,47	Wagnérite	1,574
Thaumasite	1,481	Pennine	1,577
Sodalite	1,485	Pyrophyllite	1,58
Zéolites (moyenne)	1,49	Meïonite	1,584
Leucite	1,508	Leucophane	1,585
Pétalite	1,510	Alunite	1,585
Cancrinite	1,514	Ambligonite	1,589
Orthose	1,523	Clinochlore	1,589
Gypse	1,524	Hydrargillite	1,59
Microcline	1,526	Phlogopite	1,591
Wawellite	1,526	Muscovite	1,598
Anorthose	1,527	Calcite	1,601
Albite	1,535	Mélinophane	1,605
Cordiérite	1,536	Herdérite	1,608
Oligoclase	1,538	Pectolite	1,61
Néphéline	1,543	Montebrasite	1,610
Quartz	1,547	Topaze	1,615
Baume de Canada	1,549	Delessite	1,619
Talc	1,55	Catapléite	1,619
Andésine	1,553	Trémolite	1,621
Dipyre	1,553	Eucolite	1,621
Okénite	1,556	Dolomie	1,622
Labrador	1,558	Pargasite	1,622
Paranthine	1,559	Humite	1,622
Anorthite	1,566	Wollastonite	1,623
Brucite	1,567	Lazulite (Klaprothite)	1,625

	N		N
Actinote	1,625	Wohlérite	1,714
Carpholite	1,627	Spinelle	1,715
Danburite	1,629	Augite	1,715
Richtérite	1,63	Chloritoïde	1,718
Mélilite	1,630	Hornblende ferrifère	1,719
Prehnite	1,630	Disthène	1,720
Aragonite	1,632	Idocrase	1,721
Tourmaline	1,636	Diaspore	1,725
Apatite	1,637	Rhodonite	1,73
Andalousite	1,638	Grunérite	1,73
Barytine	1,640	Helvine	1,739
Hornblénde	1,642	Staurotide	1,741
Glaucophane	1,644	Mosandrite	1,75
Antophyllite	1,644	Cymophane	1,750
Dumortiérite	1,65	Epidote	1,751
Datholite	1,650	Grossulaire	1,76
Clintonite	1,654	Corindon	1,766
Euclase	1,659	Almandin	1,77
Phenacite	1,659	Allanite	1,78
Périclase	1,66	Gadolinite	1,78
Gelhénite	1,661	Ilvaïte	1,78
Triphane	1,667	Gœthite	1,80
Sillimanite	1,667	Œgyrine	1,808
Enstatite	1,669	Pyrope	1,81
Axinite	1,677	Fer oligiste	1,90
Homilite	1,678	Sphène	1,930
Olivine	1,679	Zircon	1,952
Orthite	1,682	Cassitérite	2,028
Diopside	1,683	Chromite	2,096
Diallage	1,688	Pérowskite	2,35
Zoïsite	1,698	Anatase	2,51
Hypersthène	1,700	Broockite	2,53
Arfvedsonite	1,701	Rutile	2,712
Astrophyllite	1,705		

CHAPITRE VII

POLYCHROÏSME

L'application aux plaques minces des méthodes, qui permettent de constater le polychroïsme des cristaux colorés, se fait avec la plus grande simplicité et, dès 1869, M. Tschermak [1] en a signalé l'utilité pratique.

On enlève l'analyseur, et l'on conserve le polariseur dont nous supposerons le plan de vibration N.-S.. Le problème est, comme on le sait, entièrement résolu, quand on a pu constater la couleur que conserve le minéral, lorsque les rayons polarisés le traversent en vibrant suivant les directions des trois indices principaux n_g, n_m, n_p. On cherche la section la plus biréfringente qui contient sensiblement n_g et n_p et, après avoir supprimé l'analyseur, on fait coïncider successivement n_g et n_p avec le fil N.-S. du réticule ; les couleurs constatées correspondent aux vibrations traversant le cristal suivant cette direction. Il suffit alors de chercher une des sections de la zone parallèle à n_m ; les plans perpendiculaires aux bissectrices et aux axes optiques en font partie. Elles présentent suivant leurs extinctions la couleur propre à la vibration suivant n_m, et une combinaison des deux couleurs précédentes.

En général, dans les plaques très minces, l'affaiblissement de la teinte est tellement prononcé qu'il est parfois difficile de recon-

[1] Tschermak, Sitzungsber. der K. K. Akad. d. W., LX, mai 1869.

naître, au premier coup d'œil, un minéral que l'on n'a jusqu'alors observé qu'en échantillons volumineux. Il en résulte que certains minéraux colorés et polychroïques perdent entièrement ces propriétés dans les plaques minces ; d'autres au contraire conservent un polychroïsme extrêmement intense ; en un mot la sensibilité du procédé, employé comme caractère distinctif, s'exagère et donne une échelle plus étendue qu'avec des lames épaisses.

Le mica noir, la tourmaline, les amphiboles, l'hypersthène, les chloritoïdes conservent leur polychoïsme en plaque mince. Le pyroxène, le péridot, la cordiérite, l'andalousite, le disthène s'en montrent à peu près dépourvus. L'épidote offre à ce point de vue des caractères très variables, le plus grand nombre de ses variétés est très peu polychroïque.

Un des faits les plus curieux, que l'étude des plaques minces ait mis à jour au point de vue du polychroïsme, consiste dans l'existence d'auréoles très polychroïques[1] se développant autour de certaines inclusions, au sein des minéraux plus ou moins colorés.

C'est en général autour des petits cristaux de zircon[2], si abondamment répartis dans la plupart des roches cristallines, que se produisent les plus intenses de ces auréoles ; elles sont notamment caractéristiques dans l'andalousite, la cordiérite et le mica noir ; on les rencontre moins marquées dans la tourmaline et les amphiboles. Les teintes de polychroïsme sont en relation avec la position des indices principaux du minéral englobant. L'allanite développe dans le mica noir des auréoles aussi intenses que le zircon.

L'apatite jouit, à un degré moindre, des mêmes propriétés que le zircon ; ses petits cristaux sont parfois entourés de bordures un peu plus polychroïques que le reste du minéral encaissant.

Voici la liste des principaux minéraux polychroïques en plaques minces avec mention de leurs couleurs principales suivant n_g, n_m et n_p.

[1] Rosenbusch. *Die Steigerschiefer*. Strasbourg, 1877.

[2] Michel Lévy, C. R. 24 avril 1882.

MINÉRAUX [1]	COULEURS OBSERVÉES SUIVANT		
	n_g	n_m	n_p
— Allanite (orthite). . .	Brun jaune.	Brun rouge foncé.	Brun verdâtre pâle.
— Amphiboles.			
Actinote.	Vert pâle.	Jaune très pâle.	Jaune très pâle.
Hornblende	Vert foncé à vert bleuâtre.	Vert franc.	Vert pâle à vert jaunâtre.
Hornblende ferrifère.	Brun foncé.	Brun.	Brun pâle.
Pargasite.	Vert foncé parfois rosé.	Verdâtre.	Verdâtre.
Arfvedsonite.	Brun rougeâtre foncé.		Brun jaunâtre pâle.
Glaucophane.	Bleu.	Violet.	Jaune pâle.
Grunérite.	Brun clair.	Incolore.	Incolore.
Richtérite.	Jaune pâle.	Incolore.	Brun pâle.
O Andalousite (*auréoles autour des zircons*) .	Jaune olive très pâle.	Vert olive très pâle.	Rose de chair.
+ Ardennite.	Jaune pâle.	Jaune d'or.	Jaune brun.
| Carpholite	Incolore.	Jaune paille.	Jaune paille.
× Chlorites	Jaune pâle (bis.)	Vert pâle.	Vert pâle.
+ O Chloritoïdes.	Jaune verdâtre.	Bleu indigo	Vert olive.
O Cordiérite.	Bleu à violet presque incolore.	Bleu encore plus pâle.	Jaune très pâle.
(*Auréoles autour des zirc.*).	Jaune pâle.	Jaune pâle.	Jaune citron.
O Corindon	Bleu en facules.	»	Glauque presque incolore.
+ O Dumortiérite	Jaunâtre presque incolore.	Jaunâtre presque incolore.	Bleu azur intense.
× Epidote.	Verdâtre presque incolore.	Brunâtre presque incolore.	Jaune citr. d'intensité variab.
+ O Piémontite	Rouge vif.	Améthiste.	Orangé.
— O Humites (chondrod.) .	Jaune brunâtre pâle.	Jaune brunâtre pâle.	Jaune d'or foncé.
| Hypersthène.	Vert.	Brun jaunâtre.	Brun rouge.
+ O Lazulite (klaprothite).	Bleu az. intense	Bleu az. intense	Incolore.
Pyroxènes.			
| Diallage	Verdâtre pâle.	Jaunâtre pâle.	Verdâtre pâle.
| Augite des phonolites.	Vert.	Rougeâtre.	Vert.
+ Achmite	Brun verdâtre.	Brun clair.	Brun foncé.
+ Œgyrine	Vert jaunâtre.	Vert olive.	Vert.
| Sphène.	Rouge jaunâtre	Rouge verdâtre	Jaune pâle.
— O Staurotide	Jaune d'or.	Jaune très pâle.	Jaune très pâle.
+ O Tourmaline.	Brun foncé à bleu.	»	Brun pâle presque incolore.
+ Warwickite	Brun cannelle.	Brun rouge.	Brunâtre clair.
+ O Zoïsite (thulite) . . .	Jaune.	Rose vif.	Rose clair.
+ O Micas noirs. (*Auréoles*).	Brun foncé.	Brun foncé.	Brun pâle.

[1] Polychroïsme intense + ; marqué — ; caractéristique O; faible | ; variable ×.

CHAPITRE VIII

APPLICATION DES MÉTHODES MICRO-CHIMIQUES A L'ANALYSE QUALITATIVE DES MINÉRAUX

L'emploi du microscope, dans les études minéralogiques et lithologiques, a conduit à aborder l'examen de cristaux de plus en plus petits; dès lors, le contrôle, apporté aux déterminations par les réactions chimiques, devait nécessairement se modifier et employer aussi les méthodes microscopiques.

On a tenté d'isoler, par des moyens chimiques ou mécaniques, certains minéraux les uns des autres. Puis, eu égard à la très petite quantité de matière purifiée, souvent après de longs efforts, on a cherché à lui faire subir sous le microscope des réactions caractéristiques; on a même procédé à de véritables analyses méthodiques donnant des notions qualitatives précises et quantitatives approchées.

Ces nouvelles méthodes ont parfois des avantages marqués sur celles qui sont basées sur l'emploi du chalumeau : elles n'exigent pas une aussi grande habileté manuelle; elles amènent à des caractères souvent plus précis et plus faciles à constater; enfin elles permettent plusieurs recherches sur une quantité de matière première qui ne dépasse pas un dixième de milligramme.

Il nous a paru utile de résumer les plus récents progrès de cette application de la chimie à la minéralogie; c'est à MM. Fouqué, Boricky, Behrens, Haushofer, Streng, Klément et Renard que l'on doit les travaux les plus importants sur ce sujet intéressant.

Procédés de séparation et de purification. — Nous passerons rapidement sur les procédés de séparation et de purification, qui sont

d'ailleurs un préliminaire généralement indispensable, avant toute étude micro-chimique. Ils se distinguent en deux classes, suivant que l'on emploie la voie chimique ou mécanique.

1° *Procédés chimiques.* — Le plus fécond des procédés d'extraction chimique est basé sur l'emploi de l'acide fluorhydrique concentré; M. Fouqué en a montré le premier toute la portée; l'acide fluorhydrique attaque successivement les silicates vitreux, puis les silicates acides, et enfin, avec une lenteur plus ou moins grande, les silicates basiques. Certains minéraux, tels que le rutile, le corindon, l'andalousite, lui résistent et on a pu ainsi isoler les aiguilles microscopiques de rutile que contiennent un grand nombre de schistes.

L'emploi des autres acides peut, dans certains cas, rendre aussi d'utiles services. Ainsi nous avons pu extraire les zircons qui se présentent en inclusions dans les micas noirs, en laissant digérer pendant vingt-quatre heures ces derniers dans l'acide chlorhydrique à 100° en vase clos. Le mica est entièrement transformé en paillettes de silice gélatineuse; un traitement rapide à l'acide fluorhydrique étendu dissout cette silice et laisse intacts les zircons qu'une attaque moins rapide aurait en partie corrodés.

La fusion avec l'hydrate de potasse ou le carbonate de soude donne aussi parfois de bons résultats.

2° *Procédés mécaniques.* — En procédant sur des poudres convenablement calibrées, on peut s'appuyer sur les densités variables des divers minéraux mélangés pour obtenir une séparation mécanique convenable. Les liqueurs à grande densité sont entrées à ce point de vue dans la pratique courante des laboratoires de minéralogie et de pétrographie ; nous ne ferons donc que citer : la liqueur de biiodure de mercure et de potassium (densité maxima, 3,17) sur laquelle les travaux de MM. Churet, Thoulet et Goldschmidt ont successivement appelé l'attention; la liqueur de tungsto-borate de cadmium (densité maxima, 3,6), due à M. Klein ; les mélanges fondus de chlorures de zinc et de plomb étudiés par M. R. Bréon, qui permettent de séparer le rutile du grenat.

M. Fouqué, et à sa suite M. Dœlter, ont employé un puissant électro-aimant pour séparer les minéraux ferrugineux des élé-



ments non-ferrugineux des roches; on sait qu'en promenant un barreau aimanté dans une poudre cristalline, on la débarrasse du fer oxydulé qu'elle peut contenir. L'emploi de l'électro-aimant étend cette propriété à tous les minéraux qui contiennent des quantités appréciables de fer; le pyroxène, le péridot, l'amphibole, le fer titané sont ainsi séparés des feldspaths et l'emploi combiné de l'acide fluorhydrique agissant rapidement pour dissoudre les parcelles vitreuses, et de l'électro-aimant, a permis à M. Fouqué d'isoler à l'état de pureté les feldspaths des roches de Santorin.

Dans tous les cas, il convient de vérifier au microscope les poudres purifiées et d'en tirer les quelques grains étrangers qui s'y trouvent encore mêlés. On se sert à cet effet d'une aiguille trempée dans la glycérine et on élimine une à une les impuretés qui se montrent à un faible grossissement. Si même tous les autres procédés de séparation sont impuissants, on peut se servir du microscope pour isoler une petite quantité du minéral à l'étude.

Dans ce but on taille une plaque un peu épaisse de la roche dans laquelle on le sait engagé. On a soin de ne pas la recouvrir d'un verre mince, et on la porte sous le microscope, simplement collée par sa face inférieure sur le verre qui a servi au polissage. Avec une aiguille emmanchée, on fait sauter autour de la plage en étude, et par petites portions, les divers minéraux associés. Avec un peu de soin, on arrive ainsi à l'isoler et l'on peut alors lui appliquer les procédés micro-chimiques.

On peut encore suivre un procédé ingénieux, préconisé par M. Streng[1] : après avoir décoiffé la préparation de son verre mince et avant d'enlever le baume de Canada qui la recouvre, on fait glisser sur le baume un autre verre mince percé d'un trou très fin, de façon que ce trou se superpose au minéral à étudier.

Une fois la superposition obtenue à l'aide du microscope, on ramollit le baume par la chaleur; le verre mince percé se fixe et avec un pinceau trempé dans la benzine, on enlève soigneusement le baume au droit du petit trou. On peut dès lors procéder à l'attaque du minéral, isolé et décapé, par les acides chlorhydrique ou azotique.

[1] *Neues Jahrb.* 1885, I, 21.

Pour obtenir des verres minces finement troués, il suffit de les enduire préalablement d'une fine couche de baume; on fait un trou au moyen d'une aiguille dans le baume, puis on y dépose une goutte d'acide fluorhydrique.

Si l'attaque à opérer sur le minéral doit se faire avec ce dernier acide, il faut remplacer le verre mince par une petite plaque de platine également percée d'un trou très fin.

Réactions générales sur plaque mince ou sur minéraux extraits. — L'attaque par l'acide chlorhydrique des minéraux usuels des roches donnent rapidement des notions utiles ; on peut les acquérir et en conserver la trace, en traitant directement les plaques minces à l'étude. A cet effet, on fait sauter le verre mince qui recouvre la préparation, on enlève, avec un pinceau trempé dans la benzine, le baume qui recouvre la plaque ou la partie de plaque que l'on veut attaquer. Puis on la dépose dans une capsule à fond plat que l'on remplit d'acide chlorhydrique et que l'on recouvre d'un verre. Il faut éviter de dépasser une température de 70°; sinon le baume, qui tient encore collée la partie inférieure de la préparation, pourrait fondre et la plaque mince se réduirait en débris.

Après quelques heures d'attaque, certains minéraux sont dissous ; tels sont l'hématite, le fer oxydulé, l'apatite. D'autres, profondément attaqués, ne laissent plus apercevoir qu'un squelette de silice gélatineuse ou pulvérulente; tels sont le péridot, la néphéline, l'amphigène, l'haüyne, la chlorite, l'anorthite, la sodalite. On peut mettre en évidence la silice gélatineuse en se servant de la propriété qu'elle a de fixer certaines matières colorantes, telles que l'aniline.

Enfin d'autres minéraux ont subi une attaque partielle : les micas noirs se décolorent en partie; le labrador ne résiste pas toujours entièrement et laisse voir des corrosions inégales. On peut même, en arrêtant rapidement l'attaque, mettre à profit les figures de corrosion souvent très reconnaissables, qui se développent à la surface des sections.

En somme, l'attaque par l'acide chlorhydrique confirme la détermination de certains minéraux tels que l'anorthite, le péridot; elle permet de distinguer le fer oxydulé, qui se dissout, du fer

titané qui résiste. Elle décape remarquablement certaines plaques en les débarrassant de produits ferrugineux secondaires qui les salissent. Enfin elle permet de reconnaître la moindre trace de carbonates attaquables, par l'effervescence, facile à constater au microscope, qu'elle provoque en les dissolvant.

Réactions spéciales; haüyne. — L'action des vapeurs de soufre sur les minéraux du groupe de l'haüyne a été utilisée par M. Knopp, qui a montré que ces minéraux prennent alors, en plaque mince, une coloration caractéristique.

La séparation micro-chimique de l'haüyne riche en sulfate de chaux et de la noséane riche en sulfate de soude peut être effectuée par une attaque à l'acide chlorhydrique; si la liqueur acide contient beaucoup de sulfate de chaux, elle abandonne par évaporation de petits cristaux de gypse (Sauer). Il faut éviter d'employer une liqueur acide trop concentrée et ne pas chauffer à trop haute température; sinon les cristaux reconnaissables de gypse seraient remplacés par des cristaux rhombiques d'anhydrite.

Apatite. — M. Zirkel a, le premier, signalé l'extrême diffusion de l'apatite dans les roches éruptives; elle est surtout abondamment répartie dans les roches riches en mica noir; on l'y voit constituer des prismes hexagonaux généralement allongés et de très petite dimension. Il était intéressant de confirmer, sur les plaques minces elles-mêmes, ce diagnostic par un essai chimique. M. Streng[1] y est parvenu en utilisant une réaction indiquée par Frésénius.

Sur la plaque mince décapée, on dépose une goutte d'acide azotique étendu de la moitié de son volume d'eau, et on laisse l'apatite se dissoudre à une douce température. Puis on ajoute un très petit fragment de molybdate d'ammoniaque. Il se produit immédiatement un précipité de phospho-molybdate composé d'octaèdres et de dodécaèdres rhomboïdaux jaunes, très caractéristiques au microscope.

Si la liqueur contient en dissolution de la silice (Knopp, Stelzner) sans trace d'acide phosphorique, elle reste sans changement à froid, devient jaune à chaud, mais sans abandonner de précipité; il faut un

[1] *Miner. Mitth.* 1876, 167.

long temps ou une longue addition d'un excès de chlorhydrate ou de nitrate d'ammoniaque pour provoquer le dépôt d'un précipité jaune qui se distingue alors difficilement au microscope du précipité obtenu avec l'acide phosphorique.

Par contre, dans une solution siliceuse, la plus petite quantité d'acide phosphorique provoque immédiatement la production abondante des octaèdres et des rhombo-dodécaèdres caractéristiques ; la présence de la silice a donc pour effet d'exagérer la sensibilité du réactif.

D'après M. Streng, l'éléolite, la néphéline, la mélilite, la natrolite, dépourvues d'apatite et traitées par l'acide azotique, donnent avec le molybdate d'ammoniaque des liqueurs incolores ou jaunâtres sans aucun dépôt. L'addition du plus petit cristal d'apatite détermine immédiatement l'abondante production du précipité caractéristique.

Zircon, rutile, oxyde d'étain. — Quand on attaque[1] le zircon à haute température par le carbonate de soude, on obtient, après refroidissement du culot et lessivage à l'eau chaude, une poudre cristalline très difficilement attaquable aux acides, et composée de zircone sensiblement pure.

L'observation microscopique du culot montre que ces cristaux y existaient avant le lessivage. La zircone peut donc cristalliser dans un excès de carbonate de soude fondu.

Ces cristaux se présentent sous deux aspects, suivant la température et la quantité de carbonate de soude employées. Quand on opère avec un poids de carbonate de soude égal à dix fois celui du zircon et qu'on porte le mélange au rouge blanc pendant cinq minutes, si la quantité de zircon employé ne dépasse pas quelques milligrammes, il se forme surtout des agrégats cristallins en grilles rectangulaires. Leur type le plus régulier constitue une association de six cristaux groupés comme les axes quaternaires d'un cube. Chaque élément est un petit prisme transparent à pointement terminal d'environ 72°.

Zircone quadratique. — Ces délicates productions, qui ont, en moyenne, 15 à 20 centièmes de millimètre (micromillimètres),

[1] Michel Lévy et L. Bourgeois, *C. R.*, 20 mars 1882.

peuvent être obtenues en partant de la zircone pure. L'analyse n'y indique aucune trace de silice, et seulement 1 à 2 p. 100 de soude qui paraissent provenir d'impuretés (petits rhomboèdres obtus, avec angle plan de 100°, très attaquables aux acides; zirconate de soude ?).

Par contre, l'analyse y décèle toujours la présence du platine (jusqu'à 10 p. 100). Ce métal provient de l'attaque du creuset employé, et se trouve incorporé, à l'état d'élément isomorphe, à la zircone dont il rend les cristaux réfringents et d'un jaune plus ou moins foncé.

Quand la coloration est vive, la biréfringence devient, elle aussi, sensible. On voit alors que chacun des six cristaux élémentaires se compose lui-même de quatre cristaux aplatis, maclés

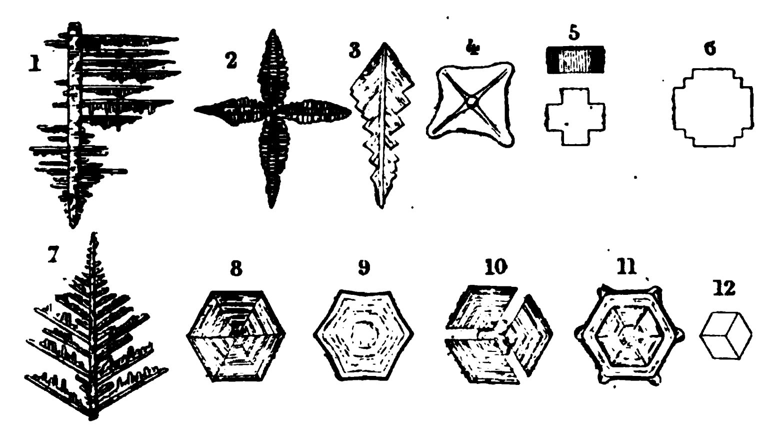


Fig. 28. — 1 à 6. Zircone à formes rectangulaires. — 7 à 11. Zircone à formes hexagonales. — 12. Rhomboèdre de zirconate de soude.

deux à deux dans deux plans rectangulaires; ces cristaux sont striés parallèlement aux faces terminales du pointement à 72°, et s'éteignent chacun suivant cette direction. (Voir fig. 28.) Les deux moitiés d'une même branche, visibles simultanément, s'éteignent donc à 18° l'une de l'autre.

Cet angle peut être rapproché de celui que M. Nordenskiöld a attribué à la pyramide des cristaux de zircone quadratique, qu'il a obtenus par fusion dans le borax.

Zircone hexagonale. — Quand on opère au rouge vif et avec un poids de carbonate de soude plus faible, égal à deux fois celui du

zircon employé, la zircone cristallise encore au sein du fondant en quelques minutes; mais elle ne présente plus les formes en grille rectangulaire précédentes. Après lessivage à l'eau chaude, on recueille des lamelles hexagonales, transparentes, parfois empilées comme celles de mica. C'est encore de la zicone, incolore lorsqu'elle est pure, colorée en jaune lorsqu'elle s'est associée au platine par voie d'isomorphisme. L'opération réussit, quelle que soit la quantité de zircon employée.

Les lamelles hexagonales sont très difficilement attaquables aux acides; incolores, elles ont une densité d'environ 4,9. Platinifères, elles agissent sur la lumière polarisée et s'éteignent parallèlement à un des côtés de l'hexagone; d'autres fois, les hexagones se montrent divisés en secteurs, striés chacun parallèlement aux côtés de l'hexagone, et s'éteignant suivant leurs directions. Les formes élémentaires sont des arborisations hexagonales; il y a donc incompatibilité apparente entre les deux formes de la zircone, comme entre celles de la tridymite et du quartz.

En lumière convergente, les hexagones homogènes de zircone montrent un axe optique unique négatif, perpendiculaire à la base; la biréfringence est forte et l'on voit plusieurs anneaux isochromatiques.

Pour faire l'analyse de ces produits, nous avons employé l'acide fluorhydrique et l'acide sulfurique. Le zircon d'Espaly, traité par deux fois son poids de carbonate de soude, pendant cinq minutes au rouge vif, a abandonné sensiblement la totalité de la zircone sous forme de lamelles hexagonales.

Il suffit de quelques milligrammes de zircon pour obtenir en abondance l'un des deux produits décrits ci-dessus; le plus souvent on obtient un mélange des deux. Il faut opérer dans de très petits creusets, chauffer très rapidement et surtout ne pas prolonger outre mesure l'opération, car on dissoudrait la majeure partie de la zircone.

L'yttrium, le niobium, le tungstène, le titane, le tantale ne fournissent rien de pareil. L'acide stannique au contraire donne des productions hexagonales, mais le procédé n'est plus assez sensible pour servir de réaction microchimique; il convient seulement de les étudier pour éviter de les confondre avec celles de la zircone.

Oxyde d'étain hexagonal. — Pour obtenir ces hexagones stannifères [1], il faut fondre au rouge blanc une partie d'acide stannique avec quatre parties de carbonate de soude; puis on recuit un quart d'heure au rouge vif. Il se produit ainsi à la surface du culot une accumulation de lamelles hexagonales très brillantes, de beaucoup plus grande taille que celles de zircone et ayant jusqu'à 1 millimètre de diamètre. Lavées à l'eau acidulée, elles se montrent très cassantes et analogues comme aspect à l'or mussif.

Au microscope, les hexagones aplatis, souvent hérissés de pointes au droit des sommets (fig. 28, n°s 9 et 11), sont plus ou moins teintés de jaune. Ils possèdent, sans anomalies optiques, les propriétés des cristaux à un axe négatif. On n'obtient, sous forme de lamelles hexagonales, qu'une petite portion de l'étain employé; le reste constitue des stannates alcalins, les uns insolubles (rhomboèdres), les autres solubles (longues aiguilles) dans un excès d'eau, tous facilement attaquables par les acides.

Les lamelles hexagonales stannifères sont, au contraire, très difficilement attaquables par les acides concentrés et bouillants; cependant elles ne résistent pas aussi énergiquement que celles de zircone. La solution chlorhydrique partielle contient du platine, et le creuset, dans lequel la fusion a été opérée, est toujours sensiblement attaqué.

L'analyse de 0 gr. 5 d'hexagones stannifères, a donné

			Oxygène théorique
Etain	57,94	SnO^2	15,74
Platine	22,48	PtO^2	3,65
Oxygène	19,58		19.39
	100,00		

Densité 6,70

L'oxygène a été dosé en réduisant, au rouge naissant, le produit par l'hydrogène. L'alliage a alors été traité par l'acide chlorhydrique à chaud; après dissolution partielle de l'étain, il est resté un alliage cristallisé de platine et d'étain en lamelles brillantes à reflet noirâtre. L'analyse de cet alliage a été poursuivie, en l'attaquant à 300° environ par le chlore gazeux. Il répondait à la formule $Sn^3 Pt^4$ (exactement $Sn^{3,028} Pt^4$).

[1] Michel Lévy et L. Bourgeois. *Sur le dimorphisme de l'acide stannique* (*C. R.*, 15 mai 1882).

Le résidu de platine a été vérifié par dissolution dans l'eau régale et précipitation sous forme de chloroplatinate d'ammoniaque. Il contenait environ 1/8e d'iridium.

L'analyse montre donc que les hexagones stannifères répondent à la formule de la cassitérite naturelle, qui appartient au système quadratique. Le bioxyde d'étain est donc dimorphe comme la zircone et, comme elle, il présente une variété cristalline analogue à la tridymite.

Mais on doit retenir, au point de vue microchimique, qu'il faut une assez grande quantité d'oxyde d'étain pour obtenir les hexagones stannifères et que jamais le procédé employé n'a reproduit les formes quadratiques de la cassitérite. Il n'est donc nettement utilisable que pour le zircon, dont il décèle de très petites quantités.

Diffusion du zircon. — Grâce à cette réaction sensible [1], nous avons pu mettre en évidence l'extrême diffusion du zircon dans les roches, et surtout préciser le rôle qu'il joue dans toutes les roches acides où le mica noir est abondant.

Dans ce but, nous avons étudié d'abord une roche foncée et très micacée qui affleure, sur la route de Mesvre à Autun (Saône-et-Loire), près du hameau de Lativelet, et qui forme des veines dans les grandes masses de granulite à mica blanc de la région. L'étude microscopique montre que cette roche est exclusivement composée de zircons, d'apatite et de mica noir.

L'apatite, qui constitue jusqu'à 40 p. 100 de la masse, est chlorurée avec traces très faibles de fluor. Le mica noir, très polychroïque dans les teintes brunes, présente un angle $2E = 14°$. Quant au zircon, il constitue tout au plus en poids $\frac{1}{5000}$ de la roche ; on y aperçoit les faces h^1, a^1, avec de petites zones d'accroissement multiples et des inclusions gazeuses; ses plus gros cristaux ne dépassent pas $0^{mm},03$; grâce au dispositif von Lasaulx, on peut constater un axe optique positif. Enfin, suivant les faces d'allongement favori, la biréfringence $(n_g - n_p)$ atteint environ 0,05.

Autour des petits cristaux de zircon, on voit se développer dans

[1] Michel Lévy, *C. R.* 24 avril 1882.

le mica noir de larges auréoles d'un polychroïsme tellement intense qu'elles varient du jaune pâle au noir opaque; lorsque la section principale du polariseur est parallèle aux traces du clivage facile du mica, la lumière ne traverse plus ces auréoles, même en plaque mince de $0^{mm},01$.

La largeur des auréoles est souvent double de celle du cristal de zircon; elles n'ont d'ailleurs qu'une relation de position avec ce dernier; leurs propriétés optiques et leur direction d'absorption maxima sont celles du mica ambiant, de telle sorte que, lorsqu'un zircon a été englobé à la limite de plusieurs plages de mica diversement orientées, l'auréole atteint ces diverses plages et se fractionne en portions dont les unes présentent les teintes foncées tandis que d'autres sont encore claires.

Quand on chauffe le mica, les auréoles persistent aussi longtemps que le mica lui-même; l'action est encore nulle vers 300°. Vers le rouge naissant, le mica tout entier perd sa transparence.

L'action de l'acide chlorhydrique bouillant ne se produit pas plus rapidement sur les auréoles polychroïques que sur le mica ambiant. On est donc fondé à admettre que ces auréoles doivent leur origine à une concentration ou à une modification du pigment ferrugineux du mica noir et l'on ne peut la rapporter à une matière pigmentaire de nature organique, analogue à celle de la topaze brûlée.

D'ailleurs le fait, découvert par M. Rosenbusch, que les auréoles analogues de l'andalousite se modifient par la chaleur, ne suffit pas pour autoriser l'hypothèse d'un pigment organique, et les arguments récemment présentés par M. Cohen [1] ne nous semblent pas démonstratifs.

L'exemple de la roche de Lativelet n'est pas isolé; on peut dire que toutes les roches à mica noir en présentent d'analogues. Les granites, les granulites, les microgranulites, les porphyres pétrosiliceux, parmi les roches acides, contiennent du zircon et l'abondante diffusion de ce minéral est un fait acquis au même titre que celle de l'apatite.

Il était important de contrôler la détermination optique de ce

[1] *Neues Jahrb.* 1888, p. 165.

minéral par des essais chimiques concluants. Nous avons attaqué, par l'acide chlorhydrique à 100° en vase clos, le mica de la roche de Lativelet. Le mica se transforme en paillettes siliceuses d'un blanc nacré; un rapide traitement à l'acide fluorhydrique isole le zircon. Nous avons ainsi réussi à isoler environ 0 gr. 15 de zircon de Lativelet. La densité a été trouvée égale à 4,66, et le minéral a donné nettement les réactions micro-chimiques caractéristiques de la zircone. Le mica noir de plusieurs granites, traité de la même façon, a fourni les mêmes résultats.

Rutile. — On n'a pas trouvé de bonne réaction microchimique du titane; nous rappellerons celles qui lui servent d'ordinaire de réaction qualitative : attaqué par fusion avec l'hydrate de potasse et repris par l'acide chlorhydrique concentré, le titane donne une coloration violette très sensible, si l'on chauffe sa solution chlorhydrique en présence de feuilles d'étain.

Cette même dissolution, traitée par quelques gouttes d'eau oxygénée, prend une belle couleur jaune brunâtre, très caractéristique.

Le rutile est un des éléments accessoires habituels des schistes à glaucophane et d'un grand nombre de schistes ardoisiers. Il a été longtemps confondu avec la staurotide, même après qu'on eût appris à l'extraire au moyen d'attaques répétées par l'acide fluorhydrique. Son extrême biréfringence est cependant très caractéristique.

Allanites, orthites, etc. — Ces minéraux rares apparaissent parfois dans les roches éruptives et notamment dans les granites. Le cérium y est toujours associé à des quantités notables de lantane et de didyme. La meilleure réaction micro-chimique consiste à profiter de l'attaque facile des allanites par les acides. On traite environ 300 grammes de la roche, porphyrisée et passée au tamis, par l'acide azotique. Après calcination des azotates, on reprend par l'eau et on acidule la liqueur décantée. L'acide oxalique précipite, en liqueur acide, le cérium et ses compagnons. On dissout dans le borax le précipité recueilli et séché et on en fait une perle, qu'on examine au microscope avec l'oculaire spectrosco-

pique. Les raies caractéristiques du didyme se montrent nettement, même lorsque le minéral ne présente qu'une plage de petite dimension par plaque mince de 1 cm² de section.

Méthodes générales d'analyse micro-chimique. — On doit à Boricky et à M. Behrens deux méthodes générales d'analyse micro-chimique qui rendent de grands services à la minéralogie et à la pétrographie, par la rapidité des indications obtenues et par la sensibilité des réactions mises en œuvre.

Procédé Boricky. — Boricky[1] se sert exclusivement de l'acide hydrofluosilicique et étudie la forme des hydrofluosilicates qui se produisent après une attaque plus ou moins prolongée des plaques minces ou des grains de minéraux à l'étude.

Il est indispensable d'avoir à sa disposition un réactif pur et d'éviter l'attaque du verre porte-objet. En outre, certains hydrofluosilicates ne cristallisent pas dans un excès de liqueur, et il faut, par une évaporation convenablement ménagée, hâter la production des cristaux caractéristiques.

Pour remplir ces diverses conditions, nous avons[2] recours aux procédés suivants : il est facile de purifier l'acide fluorhydrique du commerce en le distillant lentement dans des appareils en platine; nous le saturons ensuite de silice, en le laissant plusieurs jours en contact à une douce chaleur, avec du cristal de roche finement concassé, mais débarrassé par un tamisage soigné, de toute partie porphyrisée. La liqueur claire, ainsi obtenue, ne produit, par l'attaque des divers minéraux, que des hydrofluosilicates.

Nous opérons sur des verres soigneusement enduits de baume de Canada; le baume résiste à l'attaque et évite le contact du verre. On peut encore se servir de plaques de barytine ou de fluorine bien transparentes.

Enfin le fragment ou le débris de plaque mince, une fois fixé sur le porte-objet au moyen de baume, est recouvert d'une goutte bien convexe d'acide que l'on a soin de conserver et de déposer

[1] *Elemente einer neuen chemisch-mikroskopischen Mineral-und Gesteinsuntersuchung*. Prag., 1877.

[2] Fouqué et Michel Lévy. *Minéralogie micrographique*, 105.

au moyen d'appareils en platine. On laisse la plaque pendant quelques heures sous une cloche à air humide; puis quand l'attaque, variable avec les divers minéraux, est suffisamment prononcée, on porte la plaque sous une cloche à air sec et l'on attend que la concentration de la liqueur ait amené la cristallisation des hydrofluosilicates.

Pour l'examen, à un grossissement de 200 à 400 diamètres on peut, soit protéger le verre de l'objectif en lui appliquant une lamelle de mica blanc enduite de glycérine, soit même attendre que la goutte d'acide soit entièrement évaporée et recouvrir la préparation d'une goutte de baume dissous dans la benzine et d'un verre mince. On conserve ainsi les témoins des analyses opérées.

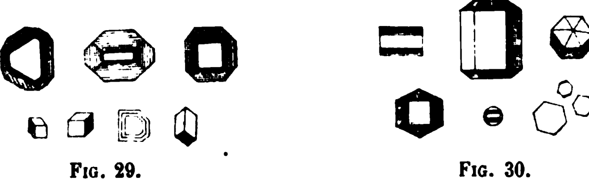


FIG. 29. Fluosilicate de potasse[1].

FIG. 30. Fluosilicate de soude[1].

Voici les formes des hydrofluosilicates cristallisés que l'on peut observer : le sel de potasse est cubique (fig. 29); celui de soude (fig. 30) donne des prismes hexagonaux. Le fluosilicate de chaux (fig. 31) cristallise en fuseaux étroits et allongés. La magnésie, le fer et le manganèse donnent des rhomboèdres identiques d'as-

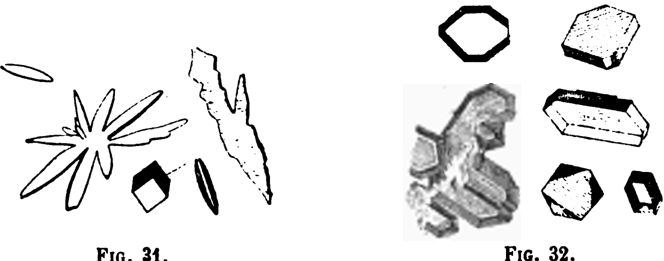


FIG. 31. Fluosilicate de chaux[1].

FIG. 32. Fluosilicate de magnésie[1].

[1] D'après Klément et Renard.

pect (fig. 32). Le baryum fournit des cristaux aiguillés très effilés. Enfin le lithium produit des pyramides hexagonales de petite dimension.

Pour séparer les rhomboèdres magnésiens, ferrifères et manganésifères, il faut recourir soit à l'action du chlore gazeux, soit à celle du sulfhydrate d'ammoniaque. Le fluosilicate de magnésie ne change pas d'aspect. Avec le chlore gazeux, les rhomboèdres ferrugineux se colorent en citron, les manganésifères en brun rougeâtre. Le sulfhydrate d'ammoniaque rend les premiers noirs, et les seconds d'un gris rougeâtre grenu.

Les avantages du procédé Boricky sont la simplicité de la manipulation et la netteté relative des résultats obtenus. Mais d'une part, on n'obtient le résultat cherché qu'après plusieurs heures d'attente; de l'autre, le procédé n'est pas très sensible. De plus il ne donne aucun moyen de déceler la présence de l'alumine, qui reste en partie à l'état gélatineux, en partie à l'état de fluoaluminates incorporés avec les fluosilicates.

Certains minéraux sont absolument réfractaires à l'attaque par l'acide hydrofluosilicique ; il faut alors opérer, comme d'ailleurs nous l'avons indiqué, avec un mélange d'acide hydrofluosilicique et d'acide fluorhydrique.

Enfin la température à laquelle on laisse la cristallisation s'opérer, a une influence sensible sur la forme des hydrofluosilicates obtenus. Il convient de maintenir le laboratoire à une température voisine de 15°, pour obtenir toujours des résultats comparables.

L'ordre de solubilité des sels en question a une influence prépondérante sur la succession des dépôts cristallins qui s'opèrent; on voit apparaître d'abord les cristaux cubiques de fluosilicate de potasse; puis les prismes hexagonaux de celui de soude. Le sel de chaux est relativement très soluble, il imprègne les précédents et la silice gélatineuse qui résulte de l'attaque de certains minéraux. Enfin le sel de magnésie est presque déliquescent.

Procédé Behrens. — M. Behrens[1] a fondé une méthode micro-

[1] *Natuurkunde.* Amsterdam, 2e série, t. XVII, 1881.

chimique d'analyse des silicates sur des réactions plus usuelles et d'un emploi plus rapide et plus sensible. Elles ont l'inconvénient d'être un peu compliquées et d'exiger une manipulation plus délicate.

On opère sur environ un demi-milligramme de matière pulvérisée, que l'on commence par attaquer à chaud par 2 à 3 centigrammes d'acide fluorhydrique pur et fumant. Une fois les fluorures amenés à siccité, on les reprend par l'acide sulfurique étendu et l'on chauffe jusqu'à l'apparition des vapeurs blanches de l'acide. Il faut éviter de le chasser complètement ; il empêche l'évaporation trop rapide des gouttes dans lesquelles on opérera les diverses réactions.

On ajoute un excès d'eau et l'on évapore de façon à conserver environ 1 centigramme de liqueur sulfatée par dixième de milligramme de matière attaquée.

Recherche du calcium. — Au moyen d'une pipette capillaire,

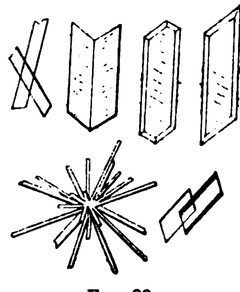


Fig. 33.
Sulfate de chaux (Gypse).

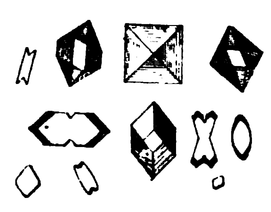


Fig. 34.
Oxalate de chaux (à chaud).

on dépose une goutte de la liqueur sur un verre porte-objet. La goutte doit avoir 2 à 3 millimètres de diamètre et doit être examinée à un grossissement d'environ 150 diamètres sans interposition de petit verre mince.

En quelques minutes les petits cristaux de gypse (fig. 33) m, $b^{1/2}$, g^1 apparaissent, maclés, non maclés, parfois en rosette ; ils sont allongés et mesurent environ 6 sur 60 centièmes de millimètre. Le procédé est très sensible et permet de déceler la présence de $0^{mg},0005$; on peut encore exagérer l'insolubilité du sulfate de chaux, en additionnant la goutte d'alcool.

L'oxalate de chaux donne également un précipité caractéristique (fig. 34).

Recherche du potassium. — Dans la précédente goutte, on ajoute, au moyen d'un fil de platine, une petite gouttelette de chlorure de platine. En quelques minutes, on voit se développer, à la péri-

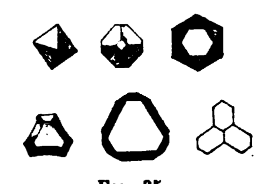


FIG. 35.
Chlorure de platine et de potassium.

phérie, des octaèdres de chlorure double de platine et de potassium (fig. 35). La présence de l'alcool hâte leur développement.

Ces octaèdres, d'un jaune brillant, nets et très réfringents, mesurent de 18 à 30 centièmes de millimètre et sont très caractéristiques. Dans les liqueurs concentrées, ils se groupent en macles de trois ou quatre individus. Il faut éviter un excès d'acide sulfurique.

La réaction est très sensible et décèle $0^{mg},0006$ de potasse.

Recherche du sodium. — M. Behrens préfère à l'acide hydrofluosilicique l'emploi du sulfate de cérium pour révéler la présence de la soude dans la liqueur sulfurique.

On juxtapose, sur le verre porte-objet, à la goutte d'essai, une gouttelette de sulfate de cérium, que l'on place à cinq millimètres de la précédente. On les réunit par un fil capillaire de verre, et dans la gouttelette de cérosulfate, on voit naître de très petits agglomérats de cristaux bruns de sulfate double de cérium et de soude. Si la liqueur contient de la potasse, le sulfate double de cet alcali forme au centre un dépôt grisâtre à plus gros grains.

A un grossissement de 600 diamètres, les petits agglomérats de sulfate sodique sont nettement visibles ; ils ont un diamètre d'environ 2 centièmes de millimètre. Les grains de sulfate potassique atteignent 5 à 6 centièmes de millimètre, et ressemblent aux grains de fécule de pomme de terre.

Il convient d'éviter, dans la goutte d'essai, un excès d'acide sulfurique ; il fait naître de grosses rosettes radiales d'un sulfate de cérium acide, qui masquent la réaction.

Le procédé est sensible et décèle la soude dans une liqueur qui n'en contient que 1,2 p. 1,000.

Recherche du lithium. — Dans la liqueur sulfurique, après dépôt du sulfate de chaux, on prélève une goutte d'essai; on y précipite le lithium à l'état de carbonate, en l'additionnant d'une goutelette de carbonate alcalin. Le carbonate de lithine se présente en jolis cristaux monocliniques, longs de 50 à 75 centièmes de millimètre, dont les contours les plus habituels sont des hexagones très allongés suivant deux de leurs côtés, des losanges aigus, ou encore des rectangles. Ils sont solubles dans le moindre excès d'acide.

Recherche du barium et du strontium. — Le barium et le strontium se trouvent précipités avec la chaux, dans le sédiment que laisse déposer la liqueur sulfurique. Ce sédiment, chauffé avec l'acide sulfurique concentré, laisse dissoudre les sulfates de baryte et de strontiane ; puis par refroidissement et addition d'eau, ces derniers cristallisent de nouveau sous forme de fuseaux croisés à angle droit.

Les macles du sulfate de baryte ont 5 à 12 centièmes de millimètre; celui de strontiane donne des cristaux plus grands, atteignant jusqu'à 45 centièmes de millimètre.

L'inconvénient du procédé est que le sulfate de chaux accompagne les autres sulfates durant toute la manipulation. Il se précipite plus lentement qu'eux et l'on voit apparaître successivement le sulfate de baryte, celui de strontiane, enfin celui de chaux. On le distingue à ses formes et aussi à sa plus faible biréfringence entre les nicols croisés.

Recherche du magnésium. — Le phosphate de soude ammoniacal est un excellent réactif, pour la recherche de la magnésie. Les cristaux de phosphate ammoniaco-magnésien (fig. 36) sont nets et présentent des formes hémimorphes caractéristiques.

On juxtapose la goutte d'essai et une goutte d'eau, à un centi-

mètre de distance ; puis on dépose dans l'eau un petit grain de sel de phosphore (phosphate hydraté de soude et d'ammoniaque), et l'on rejoint les deux gouttes par un fil de verre.

Si la liqueur contient plus de 1 p. 100 de magnésie, il se dé-

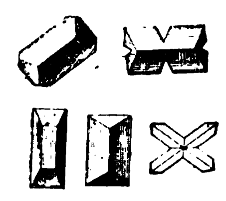


FIG. 36.
Phosphate ammoniaco-magnésien.

veloppe de grosses arborisations maclées en forme de double fourche, ayant jusqu'à 60 centièmes de millimètre de longueur. Si la liqueur est plus diluée, on voit naître de jolis cristaux orthorhombiques, dissymétriques par hémimorphisme, ayant de 10 à 20 centièmes de millimètre, et rappelant un toit de maison, par la combinaison des faces g^1 a^1 e^1.

Le fer et le manganèse donnent les mêmes cristaux ; pour vérifier la présence de la magnésie, il convient de traiter d'abord la goutte d'essai par l'ammoniaque ; on procède ensuite au précédent essai qui, s'il réussit, ne peut s'appliquer qu'à la magnésie. Il est assez sensible et donne un résultat, lorsque la liqueur contient 1,5 p. 1,000 de magnésie.

Recherche de l'aluminium. — Après de nombreux essais,

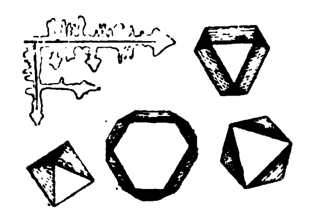


FIG. 37.
Alun de cœsium.

M. Behrens a trouvé dans le chlorure de cœsium un réactif commode pour déceler la présence de l'aluminium.

Dans la liqueur sulfurique, dont on a eu soin de chasser un

excès d'acide, on prélève une goutte d'essai. On y plonge le bout d'un fil de platine, que l'on a trempé dans le chlorure de cœsium fondu. Il suffit d'effleurer la goutte d'essai pour voir naître de gros cristaux d'alun de cœsium (fig. 37) ; ce sont des octaèdres et des cubo-octaèdres mesurant jusqu'à 90 centièmes de millimètre. Le fer n'est pas à craindre ; son alun se produit très lentement. On parvient ainsi à mettre en évidence $0^{mg},01$ d'alumine.

M. Behrens a renoncé à chercher une réaction microchimique du fer et du manganèse; les essais du fer en solution azotique par le ferrocyanure de potassium, et du manganèse par la fusion oxydante avec la soude lui paraissent atteindre toute la sensibilité désirable. Mais il a traité un certain nombre de métalloïdes que nous allons énumérer.

Recherche du soufre. — Les sulfures doivent être fondus avec un mélange de soude et de salpêtre; les sulfates insolubles avec la soude. On recherche l'acide sulfurique dans la solution, en ajoutant une gouttelette de chlorure d'aluminium et en effleurant la goutte d'essai avec le fil de platine enduit de chlorure de cœsium Il se produit des cristaux d'alun de cœsium.

Recherche du phosphore. — On procède à une fusion identique à la précédente. Dans la liqueur, on recherche l'acide phosphorique, en ajoutant une gouttelette de chlorhydrate d'ammoniaque et un petit grain de sulfate de magnésie hydraté.

Recherche du chlore. — Le nitrate d'argent produit un précipité en petits flocons dénués de forme appréciable. Le nitrate de mercure donne de fins prismes quadratiques très cassants : il faut un grossissement de 600 diamètres pour pressentir la forme de leurs débris.

Les sels de plomb sont un bon réactif microchimique du chlore, à condition d'éviter la présence de l'acide sulfurique. Une fusion avec la soude, suivie d'un traitement par un sel de plomb, donne des cristaux orthorhombiques dont les profils, en hexagones et en losanges allongés, ont 10 à 15 centièmes de millim. de longueur.

Si l'on craint la présence de l'acide sulfurique, il faut recourir au sulfate de thallium. Il se forme des octaèdres, des rhombododécaèdres et des macles en croix de 10 à 15 centièmes de millim.

Recherche du fluor. — On fond la matière avec 2 fois son volume de soude caustique, après y avoir ajouté de la silice ou du verre pilé, pour assurer la présence du silicium. On reprend par l'acide acétique et l'on évapore à sec. Cette opération, qui n'amène aucune perte de fluor, permet d'éviter les trop fortes projections dans la suite du traitement.

Elle consiste à chasser le fluor, sous forme de fluorure de silicium, par un traitement, à chaud, à l'acide sulfurique concentré.

Pour recueillir le fluorure de silicium, on se sert du dispositif suivant : on opère dans un petit creuset de platine recouvert d'un couvercle convexe vers le bas ; on suspend une goutte d'eau acidulée d'acide sulfurique (qui s'évapore ainsi moins vite) à la partie inférieure du couvercle, que l'on refroidit en emplissant sa partie supérieure d'eau froide.

Le fluorure de silicium se condense en grande partie dans la goutte inférieure. On la transporte sur un verre enduit de baume, et l'on met en évidence l'acide hydrofluosilicique qu'elle contient, en y ajoutant un peu de chlorure de sodium. Si la liqueur n'est pas trop diluée, on voit naître bientôt des rosettes hexagonales et des hexagones aplatis de fluosilicate de soude.

Recherche du silicium et du bore. — Elle se fait en suivant la même marche que ci-dessus, sauf qu'on ajoute, avec l'acide sulfurique, de l'acide fluorhydrique, avant la distillation.

Le fluoborate de soude a les mêmes formes que le fluosilicate. Pour distinguer le silicium du bore, il faut recourir aux sels de potasse ; nous avons vu que le fluosilicate de potasse cristallise en cubes ; le fluoborate donne des cristaux dont les profils sont des losanges.

On doit aussi remarquer que le silicium, combiné au fluor, distille plus vite que le bore ; ce dernier ne distille que lorsque les vapeurs d'acide sulfurique commencent à se montrer.

M. A. Streng[1] a fait sur les méthodes précédentes d'intéressantes observations et récemment essayé quelques nouvelles réactions microchimiques qui peuvent être d'un emploi très utile.

[1] *Neues Jahrb*, 1885, I, 21.

Sodium. — Pour déceler la présence de la soude, M. Streng se sert de l'acétate de sesquioxyde d'urane. Le commerce le livrant sodifère, il convient d'abord de le purifier par des cristallisations et des dissolutions successives dans l'eau chaude légèrement acidulée par l'acide acétique. Il est utile de conserver la dissolution purifiée dans des vases de platine.

Pour l'essai, on mêle une goutte de la liqueur à essayer avec une goutte de la dissolution ; on évapore en partie à 100°, puis on porte le résidu sous le microscope ; à la périphérie on voit se développer des tétraèdres nets d'acétate d'urane et de soude, qui se mêlent bientôt à des rhombododécaèdres. Ces cristaux jaunâtres sont isotropes, tandis que l'acétate d'urane, d'ailleurs plus soluble, est polychroïque et anisotrope.

Il faut éviter la production d'un sel basique en fines aiguilles ; s'il apparaît, il convient d'ajouter une goutte d'acide acétique pur, de chauffer et d'attendre le refroidissement de la goutte pour l'examiner de nouveau.

Le réactif est très sensible, car les tétraèdres ne contiennent que 4,9 p. 100 de sodium.

Barium. — Un excellent réactif du barium est le ferrocyanure de potassium. On chauffe à 100° un mélange d'une goutte de la liqueur barytique et d'une dissolution étendue de ferrocyanure ; par refroidissement, elle laisse reposer des rhomboèdres jaune pâle de ferrocyanure de potassium et de barium, s'éteignant entre les nicols croisés suivant les diagonales des faces rhombes.

Le strontium, traité de même, ne donne que des granules informes et d'ailleurs plus solubles à chaud.

Strontium. — L'acide oxalique concentré donne, avec les liqueurs contenant du strontium, à chaud des cristaux monocliniques ; à froid des octaèdres mêlés de tables pseudo-rectangulaires, à extinctions monocliniques.

Les cristaux octaédriques sont caractéristiques du strontium ; le barium ne les fournit pas avec l'acide oxalique[1].

[1] MM. Klément et Renard ont fait paraître un traité développé de microchimie minérale, dans lequel ils donnent les détails les plus circonstanciés sur toutes les méthodes proposées. — Bruxelles, A. Manceaux, éditeur, 1886.



RÉSUMÉ DES PRINCIPALES RÉACTIONS MICRO-CHIMIQUES

	MANIPULATION	RÉACTIFS MICRO-CHIMIQUES	PRODUITS OBSERVÉS
SOUFRE	Fusion oxydante (a. sulfurique).	Chlorure d'aluminium, puis de cœsium.	Alun de cœsium en octaèdres.
PHOSPHORE	1° Fusion oxydante (a. phosphorique).	Molybdate d'ammoniaque.	Phosphomolybdate en rhombododécaèdres.
	2° Fusion oxydante (a. phosphorique).	Chlorhydrate d'ammoniaque, puis sulfate de magnésie.	Phosphate ammoniaco-magnésien en cristaux orthorhombiques hémimorphes.
CHLORE	1° En liqueur non sulfurique.	Sels de plomb.	Chlor. orthorhombique.
	2° En liqueur sulfurique.	Sulfate de thallium.	Chlor. octaédrique.
FLUOR	Fusion avec soude et silice.	Traitement par l'acide sulfurique; on recueille le fluorure de silicium, et on le traite par un sel de soude.	Hydrofluosilicate de soude en hexagones aplatis.
SILICIUM	Fusion avec soude.	Traitement par l'acide sulfurique additionné d'acide fluorhyd. Puis comme pour le fluor.	Hydrofluosilicate de soude en hexagon. aplatis.
BORE	Fusion avec soude.	Traitement par l'acide sulfurique additionné d'acide fluorhyd. Puis comme pour le fluor.	Fluoborate de soude en cristaux losangiques.
POTASSIUM	1° En liqueur sulfurique.	Chlorure de platine et alcool.	Chlorure double en octaèdres jaunes.
	2° Attaque par l'acide hydrofluosilicique.		Hydrofluosilicate cubique.
	3° En liqueur sulfurique.	Sulfate de cérium.	Sulfate double en gros granules.
SODIUM	1° Attaque par l'acide hydrofluosilicique.		Hydrofluosilicate hexagonal.
	2° En liqueur acide.	Acétate d'urane.	Acétate double en tétraèdres.

	MANIPULATION	RÉACTIFS MICRO-CHIMIQUES	PRODUITS OBSERVÉS
SODIUM	3° En liqueur sulfurique.	Sulfate de cérium.	Sulfate double en petits granules.
CALCIUM	1° Attaque par l'acide sulfurique.		Gypse en cristaux allongés.
	2° Attaque par l'acide hydrofluosilicique.		Hydrofluosilicate en fuseaux allongés.
LITHIUM	1°	Carbonate alcalin.	Carbonate en cristaux monocliniq.
	2° Attaque par l'acide hydrofluosilicique.		Hydrofluosilicate en petites pyramides hexagonales.
BARIUM	1°	Ferrocyanure de potassium.	Ferrocyanure double en rhomboèdres d'un jaune pâle.
	2° En liqueur sulfurique.	Concentrer à chaud, puis étendre.	Sulfate en fuseaux croisés à angle droit.
	3° Attaque par l'acide hydrofluosilicique.		Cristaux aiguillés.
STRONTIUM	1°	Acide oxalique concentré à froid.	Octaèdres.
	2° En liqueur sulfurique.	Concentrer à chaud, puis étendre.	Fuseaux crois. plus volumineux que ceux du barium.
MAGNÉSIUM	1°	Ammoniaque, puis phosph. de soude et d'ammoniaque.	Cristaux orthorhombiques hémimorphes en forme de toit.
	2° Attaque par l'acide hydrofluosilicique.		Hydrofluosilicate en rhomboèdres.
FER	Mêmes réactions que pour le magnésium ; mais 1° l'ammoniaque le précipite ; 2° les rhomboèdres d'hydrofluosilicate se colorent en jaune par le chlore, ou en noir par le sulfhydrate d'ammoniaque.		
MANGANÈSE	Mêmes réactions que pour le magnésium; mais 1° l'ammoniaque le précipite; 2° les rhomboèdres d'hydrofluosilicate se colorent en brun rougeâtre par le chlore, et en gris rougeâtre par le sulfhydrate d'ammoniaque.		
ZIRCONIUM	Fusion au carbonate de soude; reprise par l'eau acidulée.	Grand excès de carbonate.	Grilles rectangulaires de zircone.
		Moindre excès de carbonate.	Hexagones aplatis.

	MANIPULATION	RÉACTIFS MICRO-CHIMIQUES	PRODUITS OBSERVÉS
ALUMINIUM	1° En liqueur sulfurique. 2° En liqueur sulfurique.	Chlorure de cœsium Sulfate de potasse.	Alun octaédrique. Alun en octaèdres à secteurs polarisants.

DEUXIÈME PARTIE

DESCRIPTION SOMMAIRE

DES PRINCIPAUX MINÉRAUX DES ROCHES

GÉNÉRALITÉS

Dans les cristaux à un axe optique, on a distingué par *a* la longueur d'un axe binaire; par *c*, celle de l'axe de symétrie d'ordre supérieur à deux. Dans le système orthorhombique, *a*, *b*, *c*, représentent les longueurs des axes binaires : *a* est la plus courte diagonale de la base, *b* la plus longue. Dans le système monoclinique, *b* coïncide avec l'orthodiagonale.

On a adopté les notations n_g, n_m, n_p pour les indices principaux de réfraction en commençant par le plus grand; n_g—n_p représente la mesure de la biréfringence. Les nombreuses valeurs numériques, relatives à ces données optiques, sont suivies du nom des savants qui les ont déterminées; c'est à M. Des Cloizeaux (Dx) que la science est redevable du plus grand nombre de ces déterminations.

Celles auxquelles nous avons procédé nous-mêmes (ML et Lx) ont été obtenues pour la biréfringence, au moyen du comparateur; pour les indices de réfraction, par la méthode de la réflexion totale (réfractomètre E. Bertrand), avec la flamme du sodium.

La biréfringence est, en général, exacte à une unité près du troisième ordre; les indices à deux unités près du même ordre. Nous avons considéré ces mesures comme fort utiles pour le diagnostic des minéraux en plaque mince, malgré les causes d'erreur inhérentes aux méthodes employées.

L'angle vrai des axes optiques est noté 2V et précédé du signe de la bissectrice aiguë $+ n_g$ ou $— n_p$. Des croquis théoriques, généralement rapportés aux sections principales, montrent la position des indices n_g, n_m, n_p par rapport aux directions cristallographiques dominantes, allongement, clivages, macles. Le signes des zones d'allongement, d'aplatissement ou de symétrie dans l'extinction des cristaux maclés, ainsi que l'angle maximum d'extinction de ces zones, a été donné conformément aux considérations développées dans la première partie de cet ouvrage.

Les teintes de polychroïsme sont indiquées en face des indices principaux.

Le tableau d'ensemble placé à la fin de cet ouvrage présente une récapitulation sommaire des principales données numériques utiles.

M L et Lx.

BIBLIOGRAPHIE

DANA. *A. System of Mineralogy*, Londres, 1862, et compléments.

DES CLOIZEAUX. *Manuel de minéralogie*, Paris, Dunod, 1862. *Nouvelles recherches sur les propriétés optiques*, Sav. Etr. XVIII, 1867.

DE LAPPARENT. *Cours de Minéralogie*, Paris, Savy, 1884.

FOUQUÉ et Michel LÉVY. *Minéralogie micrographique*, 1879.

GROTH. *Tabellarische Uebersicht*... Braunschweig, 1882.

HUSSACK. *Anleitung zum Bestimmen der gesteinbildenden Mineralien*, Leipsig, 1885.

MALLARD. *Recueil de données cristallographiques et optiques* (cours de l'école des Mines), 1885. — *Anomalies optiques* (*Ann. des Mines*), X, 24, 1876.

NAUMANN (Zirkel). *Elemente der Minéralogie*, Leipzig, 1885.

ROSENBUSCH. *Mikroskopische Physiographie*, Stuttgart, 1885.

TSCHERMAK. *Minéralogie*, Vienne, 1883.

ALUNITE

$K^2(Al^2)^3S^4O^{22} + 6$ Aq.

Densité 2,57 à 2,75. Soluble dans l'acide sulfurique.

I. Rhomboédrique; $a = 1$; $c = 1,252$; $pp(10\bar{1}1)(0\bar{1}11) = 89° 15'$. Clivage très facile suivant a^1 (0001).

Aplatissement parfois très marqué suivant a^1 (0001) : zone d'allongement apparente perpendiculaire à a^1 (0001), négative (—) et s'éteignant à 0°. L'extinction se fait dans les sections quelconques suivant les traces du clivage facile a^1 (0001).

L'alunite se présente en rhomboèdres zonés avec couronnes périphériques d'inclusions opaques, ou en masses lamellaires, comme produit d'altération, par les fumerolles, des roches et tufs volcaniques acides.

II. Groupements suivant p $(10\bar{1}1)$.

III. Double réfraction positive à un axe (+) n°_{g} [1].

$n^{\circ}_{g} = 1,592$ (Allumière, ML et Lx)
$n^{\circ}_{p} = 1,572$ — —

$n_g - n_p = 0,020$.
— $= 0,018$ (Directement, Lx).

AMBLYGONITE ET MONTÉBRASITE (HÉBRONITE)

$2\,Al^2P^2O^8 + 3\,MFl$ $M = Li, Na, H$

Densité 3 à 3,1. Facilement fusible avec flamme jaune rougeâtre ou rouge. Difficilement attaquable. Masses clivables dans les pegmatites; incolores en plaques minces.

[1] A. Lacroix. *Bull. soc. minér.*, t. X (1887), p. 169.

I. Triclinique ; $a = 0{,}245$, $b = 1$, $c = 0{,}461$. pm (001) (1$\bar{1}$0) = 105°,44' ; clivages faciles p (001), m (1$\bar{1}$0). Nombreuses et volumineuses inclusions liquides.

II. Macles multiples, formant un quadrillage à angle droit dans les sections perpendiculaires à l'arête pm. Les plans d'assemblage des lamelles hémitropes sont parallèles aux bissectrices des traces des clivages p et m.

III. D'après M. Des Cloizeaux[1], il convient de distinguer, au point de vue optique, l'*amblygonite* proprement dite, sodifère et pauvre en eau, de la *montébrasite* (hébronite), pauvre en soude, riche en eau.

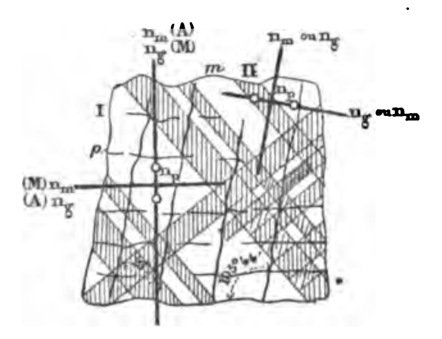


FIG. 38. — Section perpendiculaire à mp.

La bissectrice négative n_p coïncide, à quelques degrés près, dans les deux variétés, avec l'arête pm (001) (1$\bar{1}$0). Dans la montébrasite (M, fig. 38), le plan des axes n_p n_g fait, dans l'angle obtus pm, un angle de 23° avec la trace p. Dans l'amblygonite (A), c'est le plan principal n_p n_m qui occupe cette position.

$$(-)\ 2\,V = \begin{cases} M & 50 \text{ à } 90° \text{ avec } \rho < v \\ A & 50 \text{ à } 55° \text{ avec } \rho > v \end{cases}$$

	AMBLYGONITE (Montebras, ML et Lx)	MONTEBRASITE (Hébron, ML et Lx)
n_g =	1,597	1,620
n_m =	1,593	1,611
n_p =	1,578	1,600
$n_g - n_p$ =	0,019	0,020
» =	0,019 (mesure directe).	

[1] Des Cloizeaux. *Ann. de Ch. et de Phys.*, 4e série, XXVII, 1872.

GROUPE DES AMPHIBOLES

$(M\,Si\,O^3) + m\,(R^2\,O^3)$ et $M\,R^2\,Si^4\,O^{12}$ $M = Mg, Ca, Fe, Mn, Na^2$
$R = Fe, Al.$

GÉNÉRALITÉS

Densité 2,90 à 3,55. La magnésie domine sur la chaux. Les amphiboles sont inattaquables aux acides; difficilement attaquables par l'acide fluorhydrique. Fusibles au rouge vif; se transforment en pyroxènes par fusion purement ignée.

I. *Tricliniques, monocliniques et orthorhombiques.* $a = 0{,}548$, $b = 1$ $c = 0{,}294$. ph^1 (001) (100) = 104° 58'; *mm* (110) ($1\bar{1}0$) sur h^1 (100) voisin de 124° 11'. Clivages très marqués, très rectilignes et régulièrement espacés suivant *mm*.

Zone d'allongement *mm* positive (+) avec extinction maximum, variant de 0 à 22° suivant les variétés, et se produisant dans g^1 (010). Dans les sections transversales le profil de la face g^1 constitue souvent avec *m* des contours hexagonaux.

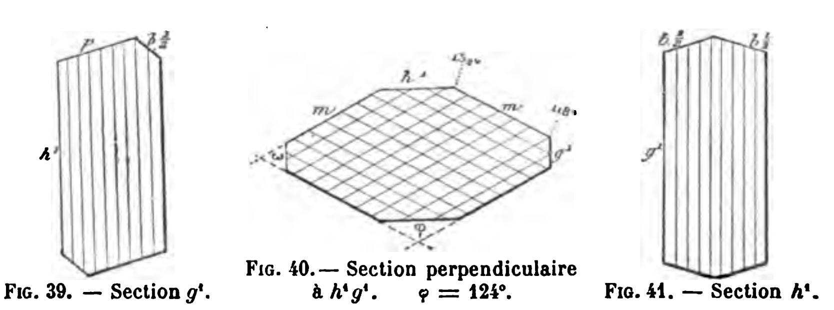


FIG. 39. — Section g^1.

FIG. 40. — Section perpendiculaire à h^1g^1. $\varphi = 124°$.

FIG. 41. — Section h^1.

Par actions secondaires, les amphiboles se transforment en chlorite, épidote, calcite, serpentine, etc. Elles apparaissent dans toute la série des roches éruptives, dans les gneiss et schistes métamorphiques, dans les cipolins, etc. Elles épigénisent très fréquemment les pyroxènes (ouralitisation).

II. Macle rarement multiple suivant h^1 (100) avec axe de rotation perpendiculaire ; suivant g^1 dans la cossyrite triclinique.

III. Plan des axes optiques dans g^1 (010). Bissectrice aiguë, généralement négative n_p, presque perpendiculaire à h^1 (100).

Dans les amphiboles monocliniques, la normale optique n_g fait un angle variable α avec l'arête h^1g^1 (100) (010), dans l'angle aigu ph^1 (001) (100); α varie de 0 à 22°.

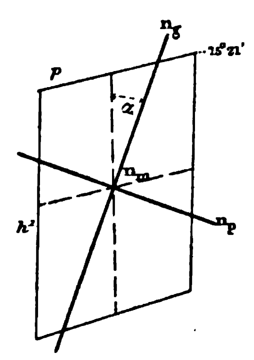


Fig. 42. — Section g^1.

Le polychroïsme est sensible ; intense dans les variétés ferrugineuses ; l'absorption est maximum suivant n_g, minimum suivant n_p (brun, vert, bleu).

La réfringence est en moyenne plus faible que dans les pyroxènes et augmente avec la teneur en fer.

La biréfringence oscille autour d'une moyenne de 0,025.

AMPHIBOLES MONOCLINIQUES

TRÉMOLITE

$Mg^3 Ca Si^4 O^{12}$.

Densité 2, 90 à 3. Incolore, difficilement fusible.

I. Outre les clivages *m*, il existe des cassures transversales *p* (001). Prismes très allongés suivant *mm*, sans terminaisons distinctes; la zone d'allongement, positive, présente une extinction maximum à 15°.

Passages à l'asbeste. La kokscharowite est une trémolite associée à un pyroxène, à l'anorthite, au rutile, à l'outremer (Baïkal). La trémolite est abondante dans les cipolins métamorphiques.

II. Macle h^1 (100).

III. Angle $\alpha = 15°$. (Voir fig. 42.) Bissectrice négative n_p. Polychroïsme nul.

$$-(2\,V) = 80 \text{ à } 88° \quad \rho < \nu.$$

n_g (jaune)	$= 1,6340$	(Penfield)	1,635	(Saint Gothard,	ML et Lx).
n_m —	$= 1,6210$	—	1,623	—	—
n_p —	$= 1,6065$	—	1,609	—	—

$$n_g - n_p = 0,026 \text{ à } 0,0275.$$

ACTINOTE

$(Mg\,Fe)^3 Ca Si^4 O^{12}$.

Densité 2,90 à 3,16. Verdâtre en plaque mince. Difficilement fusible.

L'actinote est fréquemment secondaire et abonde dans les schistes métamorphiques. Elle forme des couronnes de concrétion autour des péridots des lherzolites et des gabbros. Certaines smaragdites, le jade néphrite en sont des variétés.

I. Prismes très allongés sans terminaisons distinctes ; outre les clivages *mm* (110) ($1\bar{1}0$), cassures g^1 (010) et *p* (001).

Etat fibreux. La zone d'allongement positive présente une extinction maximum de 15°.

II. Macle h^1 (100).

III. Angle $\alpha = 15°$. Bissectrice négative n_p. Polychroïsme sensible.

$$(-)\ 2\ V = 80°\ \rho < v.$$

$n_g = 1,636$	(Zillerthal, ML et Lx)		vert.
$n_m = 1,627$	—	—	jaune pâle.
$n_p = 1,611$	—	—	jaune pâle.

$n_g - n_p = 0,025$ (ML).

RICHTÉRITE

Actinote manganésifère (jusqu'à 11 p. 100 de Mn). Mêmes propriétés que l'actinote ; $\alpha = 20°$.

$n_g = 1,64$	(ML et Lx)	jaune pâle.
$n_m = 1,63$	—	blanc.
$n_p = 1,62$	—	brun jaunâtre.

$n_g - n_p = 0,024$ (Langban, ML et Lx).

HORNBLENDE COMMUNE

$(Mg\ Fe)^2\ Si^2\ O^6\ (Al\ Fe)^4\ O^6$.

Densité 3,00 à 3,25. Vert, brun pâle.

I. Clivages *mm* (110) ($1\bar{1}0$) bien réguliers. Zone d'allongement positive avec extinction maximum de 15 à 22°. La hornblende contient parfois les lamelles brunes habituelles aux diallages.

II. Macles h^1 (100) avec le pyroxène en partie épigénisé (ouralite). Le mica noir applique parfois sa face *p* (001) sur une face *m* (110) de l'amphibole.

III. Angle $\alpha = 15$ à 22°. Bissectrice négative n_p. Polychroïsme marqué.

(—) 2 V = 84°.

n_g = 1,653 (Kragerö, ML et Lx) vert foncé parfois bleuâtre.
n_m = 1,642 — — vert.
n_p = 1,629 — — vert pâle à vert jaunâtre.

$n_g - n_p$ = 0,024 (ML).

La smaragdite est une variété de hornblende verte associée, dans les éclogites et les euphotides, à la variété de pyroxène appelée omphacite.

PARGASITE

Même composition que la hornblende commune.

I. Prismes *mm* (110) ($1\bar{1}0$) raccourcis (Pargas), allongés (Espagne), à cassures transversales ; zone d'allongement positive avec extinction maximum de 18 à 21°. Gisement dans les cipolins.

III. Angle $\alpha = 18$ à 21°. Bissectrice positive n_g. Polychroïsme sensible [1].

(+) 2 V = 58 à 60°.

n_g = 1,632 (Pargas, ML et Lx) vert parfois rosé (Llanos de Juanar).
n_m = 1,620 — — verdâtre.
n_p = 1,613 — — verdâtre pâle.
$n_g - n_p$ = 0,023 (ML) Llanos de Juanar.
— = 0,019 (ML et Lx) Pargas.

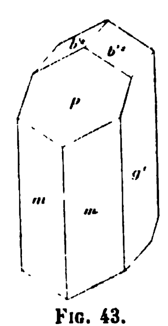


Fig. 43.

HORNBLENDE FERRIFÈRE

Densité 3,25 à 3,33. Beaucoup de fer et d'alumine (Fe^2O^3, Al^2O^3).

I. Prismes souvent terminés ; zonaires ; entourés de microlithes d'augite, de fer oxydulé. Zone d'allongement positive avec extinction maximum variable de 0 à 10°. Gisement dans les roches volcaniques, les pépérites, certaines porphyrites micacées.

[1] Michel Lély et Bergeron, mission d'Andalousie. Sav. Etr. 1888.

II. Macles h^1 (100) fréquentes et parfois multiples.

III. Angle α variant de 0 à 10°. Bissectrice négative n_p. Polychroïsme intense dans les tons bruns; réfringence et biréfringence élevées.

(—) 2 V = 80°

n_g = 1,752 (Bohême, ML et Lx) brun foncé.
n_m = 1,725 — brun.
n_p = 1,680 — brun pâle.

$n_g - n_p$ atteignant un maximum de 0,072.

GRUNÉRITE

Fe Si O³.

Densité 3,713. Associée au fer oxydulé. Gisement, schistes métamorphiques (Var).

I. Prismes fibreux et lamelleux[1]. *mm* (110) (1$\bar{1}$0) = 124°.

II. Macles h^1 (100) constantes et multiples.

III. Angle α de 11 à 15°. Polychroïsme très faible [1].

(—) 2 V = 50°.

N = 1,73.

n_g brun clair.
n_m, n_p incolore.

$n_g - n_p$ = 0,056 (Lx)

ARFVEDSONITE

Na² Fe² Si⁴ O¹².

Densité 3,55. Ne se distingne de la hornblende ferrifère que par les essais chimiques, décelant la présence de la soude. Gisement dans les roches à éléolite, néphéline, leucite.

I. Zone d'allongement positive avec extinction maximum variant de 0 à 12°.

[1] Lacroix. *Bull. Soc. min.*, IX; 40, 1886.

III. Angle α de 0 à 12°. Bissectrice négative n_p.

n_g = 1,708 (Langensundfjord, ML et Lx) brun rougeâtre foncé.
n_m = 1,707 — brun jaunâtre pâle.
n_p = 1,687 — Id.

n_g—n_p = 0,027 (Brevig, ML et Lx)
0,021 par diff.

GLAUCOPHANE

$Na^2 Al^2 Si^4 O^{12}$.

Densité 3,05 à 3,15. Gastaldite, crocidolite, Gisement dans les schistes métamorphiques avec chloritoïde, rutile, etc. Produit secondaire de l'ouralitisation de certains pyroxènes.

Prismes m (110), g^1 (010), h^1 (100), sans terminaison distincte. Cassures transversales. Zone d'allongement mm (110) ($1\bar{1}0$) positive avec extinction maximum de 4 à 6°.

II. Macle h^1 (100) assez fréquente.

III. Angle α de 4 à 6°. Bissectrice négative n_p. Polychroïsme caractéristique ; variétés de passage aux hornblendes communes.

(—) 2 V = 42°.

	GLAUCOPHANE PURE	DE PASSAGE AUX HORNBLENDES
n_g	bleu azur	bleu marin.
n_m = 1,644	violet	vert bouteille.
n_p	jaune pâle	jaune pâle.

n_g—n_p = 0,0216 (moyenne, ML.).

AMPHIBOLES ORTHORHOMBIQUES

ANTOPHYLLITE

R SiO^3.

R = Mg et Fe (*antophyllite*), avec une quantité variable d'alumine (*gédrite*). Densité 3,2 à 3,5. Gisement dans les amphibolites des gneiss.

I. Orthorhombique; *mm* $(110)(1\bar{1}0)$ = 125° (environ). Clivages faciles *mm* $(110\ (1\bar{1}0)$, difficiles h^1g^1 (100) (010). Cassures trans-

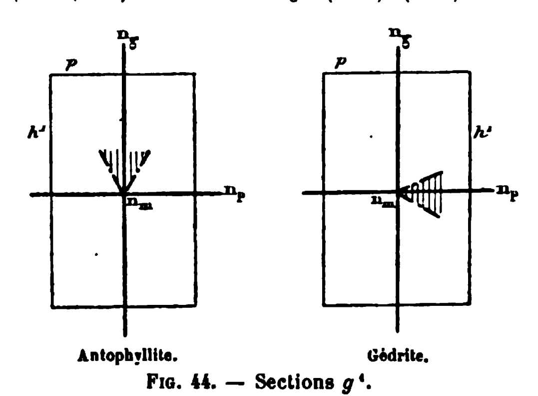


Fig. 44. — Sections g^1.

versales souvent rectilignes. Longues baguettes groupées en faisceaux sans pointement distinct, incolores en plaque mince. Zone d'allongement *mm* positive avec extinctions toujours longitudinales.

II. Macle suivant h^1 avec la hornblende, avec le mica noir dont la face *p* (001) s'applique sur h^1 de l'antophyllite.

III. Plan des axes optiques [1] dans g^1 (010) ; l'indice n_g est toujours parallèle à h^1g^1 (100) (010) : la bissectrice est positive n_g dans

[1] Des Cloizeaux. *C. R.*, LXXXIV, 1473.— Sjögren. *Kongl. Vetensk. Akad. Forhandl*, n° 10, 1882. — Lacroix. *C. R.*, CII, 1326.

l'antophyllite normale, et négative n_p dans les variétés alumineuses (gédrite).

La dispersion autour de n_g est constante : $\rho > \nu$.

(±) 2 V très variable.

$n_g = 1,657$ (Norwège, ML et Lx).
$n_m = 1,642$ — —
$n_p = 1,633$ — —

$n_g - n_p = 0,024$.

Polychroïsme insensible en plaque mince.

AMPHIBOLES TRICLINIQUES

COSSYRITE [1]

$(Na^2, Fe) Si O^3 + m [(Al^2, Fe^2) Si^3 O^9]$.

Densité 3,74. Très fusible en verre noir, partiellement attaquable. Gisement dans les rhyolites de Pantellaria.

I. Triclinique. $a = 0,532$, $b = 1$, $c = 0,294$; 90° 6', 102° 13', 89° 54' : ph^1 (001) (100) = 77° 47' (75° 2' dans la hornblende), h^1g^1 (100) (010) = 90° 6', pg^1 (001) (010) = 90° 3', mt (110) (1$\bar{1}$0) = 114° 9' (au lieu de 124°).

Clivages mt nets; formes habituelles h^1, g^1, m, t, $b^{\frac{1}{2}}$ ($\bar{1}\bar{1}1$), $f^{\frac{1}{2}}$ (111). Allongement marqué suivant la zone h^1g^1.

II. Macle constante et parfois polysynthétique suivant g^1 (010), avec axe de rotation perpendiculaire.

III. Les sections minces montrent la cossyrite à peine transparente sur les bords et présentant une couleur brun rougeâtre foncé. Le reflet des parties opaques rappelle celui du fer oxydulé. Dans les sections h^1, l'extinction se fait à 3° de l'arête h^1g^1 et le maximum d'absorption à 87°.

Dans les sections g^1, l'extinction a lieu à 39° de l'arête h^1g^1 et le maximum d'absorption à 51°.

[1] Foerstner. *Zeitsch. f. Krystal.*, V, 348, 1881.

ANATASE

Ti O^2.

Densité 3,88.

Gisement dans les roches cristallines anciennes et éruptives, parfois comme produit de décompositions.

I. Quadratique. $a = 1$, $c = 3,554$ (environ quatre fois celui du rutile). pb^1 (001) (112) = 111° 42′; b^1b^1 (112) ($1\bar{1}2$) sur p (001) = 43° 24′. Octaèdres accolés b^1 (112); tables p (001), b^1 (112) aplaties suivant p (001); plus rarement b^2 (114), b^4 (118), h^1 (100).

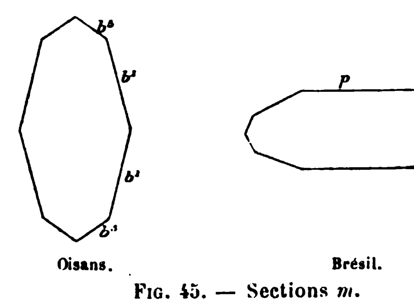
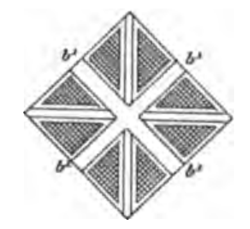


Fig. 45. — Sections m.

Clivage net suivant p (001), difficile suivant b^1 (112). Incolore, bleuâtre ou jaune en lames minces.

II. Anomalies optiques (Mallard). Les sections p (001) présentent quatre carrés égaux, quadrillés à angle droit suivant les côtés, et composés de lamelles superposées ne s'éteignant pas entre les nicols croisés. Les séparations des carrés sont isotropes, les diagonales paraissent homogènes.

La chaleur augmente la densité de l'anatase et tend peut-être à le transformer en rutile.


Fig. 46. — Section p.

III. Double réfraction à un axe négatif (—) n°_{p}; polychroïsme nul ou à peine sensible en lames minces.

n_g° = 2,513 R (Schrauf) bleu clair.
2,534 J Id. jaune.
2,554 J Miller.

n_p° = 2,4765 R (Schrauf) bleu foncé.
2,4965 J Id. orangé.
2,493 J Miller.

$n_g^{\circ}-n_p^{\circ}$ = 0,037 (Schrauf)
0,061 (Miller)

ANDALOUSITE

$Al^2 Si O^5$.

Densité 3,16 à 3,20. Inattaquable aux acides et peu attaquable à l'acide fluorhydrique. Gisement dans les schistes métamorphiques.

I. Orthorhombique. $a = 0{,}986$, $b = 1$, $c = 0{,}702$, mm (110) $(1\bar{1}0) = 90° 84'$. Clivages très nets et très rectilignes suivant m (110), difficiles suivant h^1 (100).

Allongement suivant la zone négative (—) h^1g^1 (100) (010).

On a donné le nom de *chiastolite* à des cristaux d'andalousite contenant des inclusions charbonneuses parfois régulièrement disposées en quinconce.



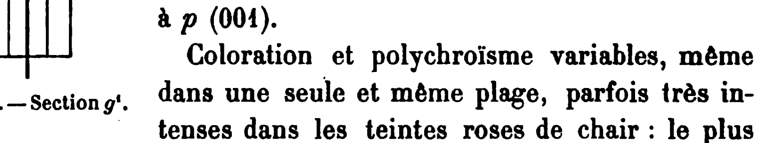


FIG. 47. — Section g^1.

II. Groupements parallèle à une face de la zone d'allongement.

III. Plan des axes optiques parallèle à g^1 (010) : la bissectrice négative n_p est normale à p (001).

Coloration et polychroïsme variables, même dans une seule et même plage, parfois très intenses dans les teintes roses de chair : le plus souvent l'andalousite est incolore en lames minces. Petites auréoles polychroïques autour des zircons.

(—) 2 V = 84° (Dx).

$n_g = 1{,}643$	jaune olive, presque incolore (Brésil, Dx).
$n_m = 1{,}638$	vert olive.
$n_p = 1{,}632$	rose chair.

$n_g - n_p = 0{,}011$.

APATITE

$Ca^5 (Cl, Fl) (PO^4)^3$.

Densité 3,16 à 3,22. Facilement soluble dans l'acide azotique, et donnant avec le molybdate d'ammoniaque la réaction de l'acide phosphorique.

I. Hexagonal. $a = 1, c = 0,735$. En lames minces, l'on n'observe que des cassures espacées suivant p (0001). Figures de corrosion hémiédriques.

Allongement suivant la zone négative mm $(10\bar{1}0)$ $(01\bar{1}0)$ (microlithes des roches éruptives et schisteuses et notamment inclusions dans la biotite) : parfois groupements palmés (filons d'apatite de Norwège). Les grands cristaux d'apatite renferment quelquefois des inclusions à deux liquides. L'apatite des roches volcaniques renferme fréquemment des granules violacés extrêmement fins. Parfois grains arrondis (pegmatite de Lativelet), avec modifications b^1, a^1.

II. Phénomènes optiques anormaux observés dans quelques cristaux d'apatite (Mallard), paraissant entraîner la symétrie orthorhombique avec axe pseudo-ternaire du réseau de ce minéral. Dans les plaques minces de roches, l'apatite se montre d'ordinaire rigoureusement hexagonale.

III. Double réfraction négative à un axe (—) n°_{p}.

$\mathbf{n}^{\circ}_{g} = 1,649$ (raie D, Heusser), 1,638 (Na) (Lattermann).
$\mathbf{n}^{\circ}_{p} = 1,645$ 1,634.

$$\mathbf{n}^{\circ}_{g} - \mathbf{n}^{\circ}_{p} = 0,004.$$

L'apatite en inclusion dans la biotite, l'amphibole et la cordiérite y détermine des auréoles polychroïques, beaucoup moins intenses que celles dues au zircon.



ARAGONITE

Ca Co³.

Densité 2,93 à 2,95.

I. Orthorhombique. $a = 0{,}623$, $b = 1$, $c = 0{,}721$; *mm* (110) $(1\bar{1}0) = 116°\ 10'$. Clivage parfait suivant g^1 (010), moins facile suivant *m* (110) et e^1 (011).

Zone d'allongement négative h^1g^1 (100) (010).

L'argonite se présente en sphérolithes à allongement négatif et à apparence écailleuse, comme produit secondaire d'un très grand nombre de roches éruptives ou métamorphiques.

II. Groupements par pénétration, avec rotation des individus orthorhombiques, suivant un axe pseudo-senaire.

Fig. 48. Section *p*.

III. Plan des axes optiques parallèle à h^1 (010). La bissectrice est négative n_p et perpendiculaire à *p* (001).

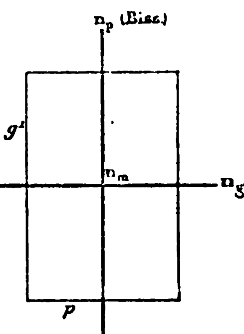


Fig. 49. — Section h^1.

La biréfringence considérable produit des couleurs de polarisation irisées, analogue à celles de la calcite.

$$(-)\ 2V = 17°\ 50'\ \rho < v.$$

$$n_g = 1{,}685 \text{ Rudberg (D).}$$
$$n_m = 1{,}681.$$
$$n_p = 1{,}530.$$
$$n_g - n_p = 0{,}155.$$

ARDENNITE

(Dewalquite.)

Silico-vanadate (et arséniate) hydraté d'alumine et de manganèse à formule complexe. Densité 3,6.

Gisement : quartz filonnien de Salm Château.

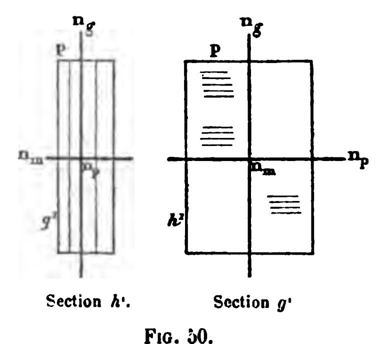
I. Orthorhombique. *mm* (110) $(1\bar{1}0)$ = 130° environ.

Clivage parfait suivant g^1 (010), distinct suivant *m* (110), cassures rectilignes suivant *p* (001), avec petites stries analogues à celles du disthène.

Aplatissement suivant g^1 (010) et allongement suivant la zone positive (+) h^1g^1 (100) (010).

II. Association suivant g^1 (010), en éventail.

III. Plan des axes optiques[1] parallèle à g^1 (010). Bissectrice positive n_g perpendiculaire à *p* (001). Dispersion des axes très marquée $\rho > v$.



Section h^1. Section g^1

Fig. 50.

Polychroïsme intense dans les teintes jaune d'or analogues à celles de la staurotide.

(+) 2 V = 68° à 70°.

n_g jaune pâle.
n_m jaune d'or.
n_p jaune brun foncé.

$n_g - n_p = 0,020$ (ML et Lx).

[1] Des Cloizeaux.

ASTROPHYLLITE

$M^{12} R^4 Si^9 O^{36}$.

M = Fe, Mn, K^2, Na^2, H^2. — R = Fe, Ti.

Densité 3,3 à 3,4. Insoluble dans les acides ; facilement fusible au chalumeau.

Gisement, syénite éléolitique.

I. Triclinique [1] voisin de la forme monoclinique et pseudo-hexagonal à la façon des micas. *mt* (1$\bar{1}$0) (110) = 120°, *ph*[1] (001) (100) = 86° environ, *pg*[1] (001) (010) = 90° environ.

Clivage parfait suivant *p* (001), facile suivant *g*[1] (010) et donnant en plaques minces des traces très rectilignes. Les cristaux sont d'ordinaire aplatis suivant *p* (001) et allongés suivant *pg*[1] (001) (010).

M. Groth rapproche l'astrophyllite des pyroxènes.

La zone d'allongement est positive et s'éteint sensiblement suivant la longueur.

II. Dans les sections *p* (001), on voit des macles rectilignes multiples, parallèles au clivage facile, ne s'éteignant pas simultanément d'une façon rigoureuse et confirmant l'hypothèse de M. Brögger sur l'attribution de l'astrophyllite au système triclinique.

III. Plan des axes optiques parallèle à *g*[1] (010) : n_p est sensiblement perpendiculaire à *p* (001) (à 2 ou 3° près). La bissectrice est positive n_g.

Polychroïsme sensible quoique faible en plaques minces.

$(+)\ 2V = 77°$.

$n_g = 1,733$ jaune pâle (Langensundfjord, ML et Lx).
$n_m = 1,703$ jaune brunâtre plus foncé.
$n_p = 1,678$.

$n_g - n_p = 0,055$ (ML et L).

[1] Brögger. *Zeitsch. f. Krystallogr.*, II, 278, 1879.

AUTUNITE (URANITE)

$Ca (Uo^2)^2 (PO^4)^2 + 8 H^2O$.

Densité 3,9 à 3,19. Soluble dans l'acide azotique.

Gisement, granulites et filons stannifères.

I. Orthorhombique. $a = 0,988$, $b = 1$, $c = 1,426$; *mm* (110, (1$\bar{1}$0) = 90° 43,.

Clivage *p* (001) micacé, g^1 (010) et h^1 (100) difficiles. En lames minces, jaune d'or, non polychroïque. Aplatissement suivant *p* (001) simulant une zone d'allongement positive.

II. Macle suivant *m* (110) avec enchevêtrements irréguliers.

III. Plan des axes optiques dans g^1 (010)[1]. Bissectrice négative n_p parallèle à h^1g^1 (100) (010). Dispersion $\rho > v$.

(—) 2 V = 30° environ.

$n_g = 1,577$ Marmagne (ML et Lx).

$n_m = 1,575$.

$n_p = 1,553$.

$n_g - n_p = 0,024$.

AXINITE

$H (Ca Fe)^2 Al^2B Si^4O^{16}$.

Densité 3,29 à 3,30. Fusible, inattaquable.

L'axinite se trouve dans les roches métamorphiques et dans les druses de nombreuses roches (notamment de la granulite).

I. Triclinique. *mt* (1$\bar{1}$0 (110) = 135° 26'; ph^1 (001) (100) antérieur

[1] Des Cloizeaux. 3e Mémoire optique, l. c., p. 41, 1867.

$= 124° 33°$, pg^1 (001) (010) sur $i^1 = 93° 10'$, $a = 0{,}602$, $b = 1$, $c = 0{,}327$; 121°,32'; 44°,42'; 140°20'.

Clivages nets e^1 (01$\bar{1}$), g^1 (010), ^2g ($\bar{1}$30), interrompu suivant p (001). Incolore en lames minces.

III. Plan des axes optiques perpendiculaire à i^1 (011); la bissectrice est négative n_p et perpendiculaire à i^1 (011) : n_g fait dans i^1 un angle de 40° avec l'arête mi^1 (110) (011), et un angle de 24° 40' avec pi^1 (001) (011) (Dx).

Dans les roches massives, l'axinite ressemble en lames minces à l'orthose, mais s'en distingue nettement par son fort relief.

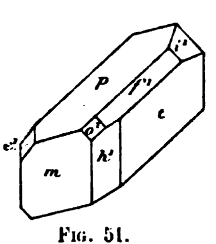


Fig. 51.

Fig. 52. — Section i^1.

(—) 2 V = 71° à 74°.

$n_g = 1{,}681_D$ (Dx).
$n_m = 1{,}677$.
$n_p = 1{,}672$.

$n_g - n_p = 0{,}009$.

BARYTINE

Ba SO^4.

Densité 4,3 à 4,7. Décrépite et fond difficilement.

Gisement, vacuoles de quelques mélaphyres et basaltes; arkoses; filons concrétionnés; abondante dans les filons triasiques.

I. Orthorhombique. $a = 0{,}815$, $b = 1$, $c = 1{,}314$; mm (110)

$1\bar{1}0 = 101°40'$, e^1e^1 (011) (0$\bar{1}$1) = 105° 24', a^2a^2 (102) ($\bar{1}$02) = 102° 17 sur *p*. Clivages *p*,*m*. Aplatissement fréquent suivant *p*.

II. Groupements suivant h^1.

III. Plan des axes optiques dans g^1 (010). La bissectrice positive n_g est perpendiculaire à h^1 (100) ; $\rho < \nu$. (Fig. 53.)

$$(+)\ 2\ V = 35°.$$
$$n_g = 1{,}647 \text{ (jaune, Heusser).}$$
$$n_m = 1{,}637.$$
$$n_p = 1{,}636.$$
$$n_g - n_p = 0{,}011.$$

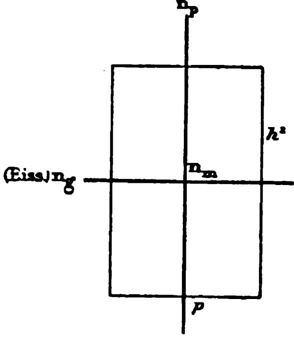


Fig. 53. — Section g^1.

La *célestine* (Sr So^4), qui présente les mêmes propriétés, a une réfringence $n_m = 1{,}6232$ et une biréfringence $n_g - n_p = 0{,}0088$ (ML et Lx).

L'*anhydrite* (Ca SO^4) donne $n_m = 1{,}576$, $n_g - n_p = 0{,}043$ (Miller). Clivages *p* (001), g^1 (010), h^1 (100) rectangulaires, très faciles.

BÉRYL

$Gl^3\,Al^2\,Si^6\,O^{18}$.

Densité 2,67 à 2,75.

Le béryl, en grands cristaux dans les granulites (pegmatites), les micaschistes, etc., est fréquemment kaolinisé par actions secondaires. Les inclusions liquides à bulle mobile sont abondantes ; parfois elles renferment des cristaux cubiques.

I. Hexagonal. $a = 1$, $c = 0{,}499$. Clivages *p* (0001) et *m* (10$\bar{1}$0), peu nets. Allongement suivant la zone négative (—) du prisme.

II. Anomalies optiques (Mallard) donnant, dans les sections *p* (0001), des lamelles hémitropes parallèles aux côtés de l'hexagone

avec bissectrice perpendiculaire à p (0001) et extinctions suivant les lignes de macle. D'après M. Mallard, le réseau serait orthorhombique, voisin de 120°, avec axe de rotation pseudo-ternaire.

En lames minces, ces anomalies optiques se traduisent par une dislocation de la croix noire, variable (lumière convergente) souvent dans l'étendue d'une même plage.

III. Double réfraction à un axe négatif (—) n_p^e.

$$n_g^e = 1,575 \text{ vert (Heusser).}$$
$$n_p^e = 1,570.$$
$$n_g - n_p = 0,005 \text{ à } 0,006.$$

BROOKITE

Ti O².

Densité 4,08 à 4,16. Inattaquable aux acides et même à l'acide fluorhydrique. Minéral secondaire et de décomposition.

I. Orthorhombique. $a = 0,944$, $b = 1$, $c = 0,842$. Ces paramètres sont voisins de ceux du rutile. Nous choisissons les notations de M. Mallard, en donnant leurs correspondances avec celles de M. Des Cloizeaux ; tables aplaties suivant p (ancien h^1) (001) ; clivage facile g^1 (ancien g^1) (010) ; mm (ancien $e^{1/2}\,e^{1/2}$) (110) $(1\bar{1}0)$ = 86° 40' ; h (ancien p) (100).

La zone d'aplatissement, qui par exception est ici perpendiculaire au clivage facile, est négative.

II. Macle rare en croix légèrement oblique. Anomalies optiques, variables avec la température, et dues à des croisements multiples de lamelles monocliniques d'après M. Mallard, avec un axe pseudo-quaternaire perpendiculaire à p.

III. Bissectrice positive n_g perpendiculaire à p (001). Le plan des axes est tantôt dans g^1 (010), tantôt dans h^1 (100). La dispersion est très grande ; $\rho > \nu$ lorsque les axes optiques sont dans h^1 ;

$\rho < v$ lorsqu'ils sont dans g^1. Certaines plages sont à un axe en lumière verte et à deux axes en lumière rouge. Les axes se meuvent lorsque l'on chauffe la broockite; les modifications deviennent

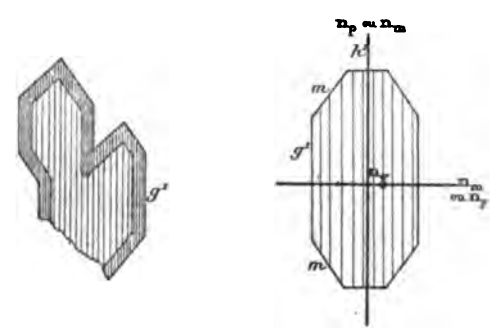


Fig. 54. — Sections p.

permanentes au rouge vif; les axes se rapprochent alors, lorsqu'ils sont situés dans g^1; ils s'écartent dans h^1.

(+) 2 V... Essentiellement variable de 53° dans g^1 (010) à 33° dans h^1 (100).

$N = 2{,}53$.

Biréfringence forte et variable. Polychroïsme faible dans les teintes jaunes ou brunes; suivant n_g a lieu le maximum d'absorption.

PSEUDO-BKOOCKITE[1]

$Fe^2 Ti O^5$.

Densité 4,98. Gisement dans les andésites.

I. Tables rectangulaires aplaties suivant p et présentant le profil h^1g^1 avec les modifications $e^{1/2}$, $a^{1/2}$; $pe^{1/2} = 154°\ 9'$; $pa^{1/2} = 138°\ 41'$. Clivage facile g^1. Brun foncé, peu transparent.

III. Plan des axes parallèle à p (001), l'arête pg^1 (001) (010) coïncide avec n_g.

[1] A. Koch. *Tsch. min. petr. Mittheil*, I, 344, 1878.

BRUCITE

$H^2 Mg O^2$.

Densité, 2,3 à 2,4. Soluble dans les acides, infusible. Gisement dans les serpentines et les cipolins.

I. Rhomboédrique. $a = 1$, $c = 0{,}521$, pp $(10\bar{1}1)$ $(\bar{0}\bar{1}11)$ $= 82° 22'$. Clivage a^1 (0001) micacé. Les surfaces de clivages sont froissées et ondulées, les lamelles très flexibles.

II. La brucite est parfois fibreuse (némalite); les fibres sont allongées suivant un des côtés de l'hexagone et négatives.

III. Double réfraction à un axe positif (+) n_g^o. Les anneaux sont fréquemment disloqués.

$$n_g^o = 1{,}581 \text{ (rouge, Bauer).}$$
$$n_p^o = 1{,}560.$$
$$n_g - n_p = 0{,}021.$$

CALCITE

$Ca\,CO^3$.

Densité 2,72, plus petite que celle de la dolomie et de l'aragonite (2,85 à 2,95). Attaque beaucoup plus facile par les acides dilués. Gisement dans les roches éruptives à l'état de grains, de feuillets, de filonnets, de sphérolithes donnant les phénomènes décrits page 44.

Certaines roches contiennent constamment (kersantites) de la calcite, sans d'ailleurs qu'il soit prouvé qu'elle n'y est pas à l'état de produit secondaire. Les amphibolites et les cornes vertes des schistes métamorphiques passent par toutes les gradations à des bancs de marbre et de cipolin; la pargasite, les humites, les spinelles y sont fréquemment associés.

I. Rhomboédrique. $a = 1$, $c = 0{,}854$; pp $(10\bar{1}1)$ $(\bar{0}\bar{1}11) =$

105°5′. Clivages très faciles p ($10\bar{1}1$). Contours toujours indistincts.

II. Macle habituelle et polysynthétique suivant b^1 ($01\bar{1}2$), peut-être en partie due aux frottements subis pendant le polissage (Druck).

III. Axe optique unique négatif — $n_p^{\bullet}$.

$$n_g^{\bullet} = 1,65846 \text{ (raie D. Mascart).}$$
$$n_p^{\bullet} = 1,48654. \quad — \quad —$$
$$n_g - n_p = 0,17192.$$

DOLOMIE

(Ca, Mg) CO^3.

Densité 2,88. Plus lentement attaquable aux acides que la calcite. **Gisement** dans les cipolins et dans les druses des roches basiques.

I. Rhomboédrique, $a = 1$, $c = 0,832$; pp ($10\bar{1}1$) ($0\bar{1}11$) $= 106°\ 15'$. Clivages p. Petits rhomboèdres primitifs.

III. Axe optique unique négatif n_p°; biréfringence énergique donnant en plaque mince des couleurs irisées à fond gris.

$$n_g^{\bullet} = 1,682 \text{ (jaune, Fizeau).}$$
$$n_p^{\bullet} = 1,503.$$
$$n_g - n_p = 0,179.$$

CANCRINITE

$Na^8Al^8Si^9O^{34} + 2\ CaCo^3 + 3\ H^2O$.

Densité 2,45. Très facilement attaquable par les acides. Gisement dans les syénites éléolitiques.

I. Hexagonale, considérée comme isomorphe avec la néphéline. Clivage facile m ($10\bar{1}0$), très marqué et très fin en lames minces; traces suivant p (0001) jalonnées par des inclusions opaques; cassures suivant h^1 ($11\bar{2}0$).

Allongement suivant la zone négative mm ($10\bar{1}0$) ($01\bar{1}0$). Incolore en lames minces. La cancrinite renferme parfois des inclu-

sions d'oligiste rappelant celles de la pierre de soleil. Elle accompagne l'éléolite qu'elle épigénise fréquemment et offre les mêmes altérations que ce dernier minéral. (Transformation en zéolites.)

III. Double réfraction à un axe négatif (—) n_p^c.

L'indice médian est inférieur à celui du baume; en lumière naturelle, la cancrinite n'a aucun relief, mais présente à sa surface, entre les nicols croisés, une sorte de chagrinage dû aux altérations.

	(Miask, Osann)	(Litchfield, ML et Lx)
n_g^c =	1,5244 (rouge)	1,522.
n_p^c =	1,4955	1,499.

$n_g - n_p$ = 0,029 Miask (Osann).
0,028 Litchfield (Directement, ML et Lx).

Cette biréfringence considérable distingue nettement la cancrinite de la néphéline.

CARPHOLITE.

$H^4MR^2Si^2O^{10}$.

M = Mn et Fe; $R^2 = Al^2$ et Fe^2. (D'après Kobell le manganèse serait à l'état de MnO.) Densité 2,93. Gisement dans les schistes et les filons concrétionnés.

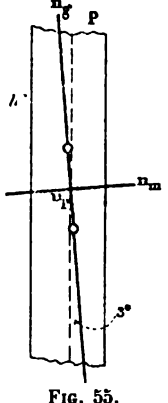


Fig. 55. Section g^1.

I. Monoclinique, *mm* (110) (1$\bar{1}$0) = 111°27' prismes allongés *m* (110), h^1 (100), g^1 (010) sans terminaisons distinctes.

Zone d'allongement h^1 g^1 (100) (010) positive, très nette. Extinctions de 0 à 5°. La carpholite se trouve dans les roches métamorphiques en masses fibreuses, légèrement jaunes en lames minces.

II. Macles suivant h^1 (100).

III. Plan des axes optiques perpendiculaire à g^1 (010).

La bissectrice est négative n_p et coïncide avec l'orthodiagonale : n_g fait dans g^1 (010) un angle de 3 à 5° avec l'arête h^1g^1 (100) (010).

Polychroïsme sensible en lames minces.

$(-)\ 2\,V = 60^\circ$ environ.

n_g incolore.
n_m jaune paille.
n_p id.

$$\frac{n_g + n_m + n_p}{3} = 1{,}627 \text{ (Wippra, ML et Lx).}$$

$n_g - n_p = 0{,}022$, variable avec le polychroïsme (ML et Lx).

CASSITÉRITE

SnO^2.

Densité 6,87. Infusible, inattaquable même par l'acide fluorhydrique. Gisement dans les pegmatites.

I. Quadratique; $a = 1$, $c = 0{,}951$. Faces dominantes a^1 (111), h^1 (110); a^1a^1 sur $p = 92^\circ{,}53'$. Clivages faciles m (100). Les notations de Lévy employées correspondent à celles du rutile et amènent à des paramètres et à une macle analogues. Les notations de Miller sont choisies suivant l'orientation prêtée au minéral par M. Rosenbusch.

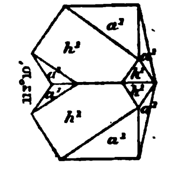


Fig. 56.

Dans les roches, la cassitérite présente en général des formes très raccourcies, une couleur brun rougeâtre avec facules jaunâtres et clivages marqués.

II. Macles en bec et en roue, analogues à celles du rutile avec face d'association b^1 (101); les arêtes verticales des individus composants forment entre elles des angles de 112° 10'.

III. Double réfraction à un axe positif (+) n_g^o.

La cassitérite se distingue du rutile par sa moindre biréfringence qui donne des couleurs vives, et non les gris d'ordre supérieur.

	rouge	jaune	vert	
$n_g^o =$	2,0799	2,0934	2,1083	(Schlaggenwald, Rosenbusch).
$n_p^o =$	1,9793	1,9976	2,0115.	

$n_g - n_p = 0{,}097$.

CATAPLÉITE

$H^{18} Na^{8} Ca^{2} (Si, Zr)^{18} O^{51}$.

Densité 2,8. Soluble en faisant gelée avec les acides, comme une zéolite.

Gisement, syénite éléolitique.

I. Hexagonal. $a = 1$, $c = 1,350$, pb^1 (0001) $(10\bar{1}1) = 122° 40'$. Clivages suivant m $(10\bar{1}0)$, difficile suivant b^1 $(10\bar{1}1)$ et b^2 $(10\bar{1}2)$. Aplatissement constant suivant p (0001). Les sections perpendiculaires à p (0001) simulent un allongement négatif suivant mp $(10\bar{1}0)$ (0001).

La catapléite est presque incolore en lames minces avec facules jaunâtres.

I. Groupements lamellaires. Macles[1] suivant b^1 $(10\bar{1}1)$ et $b^{3/2}$ $(20\bar{2}3)$.

III. Double réfraction à un axe positif (+) n_g^e; parfois la croix noire se disloque et le plan des axes optiques est parallèle à une des faces m $(10\bar{1}0)$ les deux autres faces m correspondent à des clivages plus faciles. Il est probable que la catapléite n'est que pseudo-hexagonale, et que son réseau est en réalité orthorhombique.

$\mathbf{n}_g^e = 1,629$ (ML et Lx).
$\mathbf{n}_p^e = 1,599$. —
$\mathbf{n}_g - \mathbf{n}_p = 0,030$.

CHLORITES

$H^8 M^4 R^2 Si^3 O^{18}$ $M = Mg, Fe$ $R = Al, Fe, Cr$.

Densité 2,60 à 2,96. Attaquables aux acides; plus ou moins difficilement fusibles au chalumeau.

Gisements, chloritoschistes. Élément secondaire des roches

[1] BRÖGGER. *Zeitsch. f. Krystall.* X, 346, 1885.

éruptives et métamorphiques, et notamment produits de décomposition du mica noir, de l'amphibole, du pyroxène.

I. Monoclinique (pseudo-rhomboédrique). $a = 0{,}577$, $b = 1$, $c = 2{,}277$, ph^1 (001) (100) $= 91°\ 20'$. Dans la pennine, l'angle du pseudo-rhomboèdre $b^{1/2}\ o^1$ ($\bar{1}11$) (101) est d'environ 65° 28'.

Clivage parfait p (001) donnant des lames peu élastiques.

Tables triangulaires ou hexagonales aplaties et empilées suivant p (001).

Structure en éventail, en sphérolithes ; écailles juxtaposées ayant parfois des dimensions microscopiques,

Polychroïsme dans les teintes vertes et jaunâtres pour toutes les variétés colorées.

II. 1° Macles par association de lames croisées, souvent de dimensions submicroscopiques. Pénétrations étoilées de trois individus par rotation autour de l'axe pseudo-ternaire et rotations de 120°.

2° Association analogue à la précédente, mais avec face de contact p (001) se décelant dans les sections perpendiculaires à l'aplatissement par de fines lamelles hémitropes.

III. Propriétés optiques très variables dans un même cristal.

Bissectrice n_g ou n_p tantôt positive, tantôt négative, sensiblement perpendiculaire à p (001).

Plan des axes optiques parallèle à g^1 (010).

$(\pm)$ 2 V $=$ très variable de 0° à 55°.

Le signe de la bissectrice et l'écartement des axes optiques sont souvent variables dans un même cristal.

Le polychroïsme est constant dans toutes les variétés colorées ; l'absorption minimum se fait suivant l'indice servant de bissectrice :

Suivant la bissectrice, jaune pâle.

Perpendiculairement à la bissectrice (trace du clivage facile), vert pâle.

Un grand nombre de noms spéciaux ont été donnés à des variétés de chlorite. La répartition de ces variétés peut être basée sur leurs biréfringences, seul caractère qui puisse permettre de les distinguer les unes des autres en lames minces.

Nous ferons trois groupes :

1° Chlorites à biréfringence apparente variant de 0,001 à 0,005 (PENNINE, RIPIDOLITE). Les formes pseudo-rhomboédriques dominent (pennine). Couleurs de polarisation, bleu foncé, violet lilas, rouge de cuivre, jaune laiton : elles ne sont point dues à la couleur propre des chlorites, qui sont d'un vert très pâle en lames minces, mais bien à ce fait que les lamelles submicroscopiques croisées se compensent incomplètement. Il est impossible d'obtenir une extinction complète.

Une des ripidolites, que nous avons examinées (*helminthe* du Dauphiné) montre ce fait avec évidence.

Dans les parties extrêmement minces, sur les bords des plaques et aussi le long de fibres très minces isolées, la biréfringence atteint 0,009, tandis que les compensations incomplètes ne laissent à l'ensemble des plages qu'une biréfringence très faible dans les teintes violet lilas (gris de premier ordre).

Les axes optiques sont presque réunis dans la pennine. Le signe est variable, tantôt positif, tantôt négatif.

Les ripidolites (*chlorite écailleuse*) sont d'ordinaire positives ; 2V est très petit.

n_g = 1,577 Dx. 1,579 (pennine, ML et Lx).
n_p = 1,576 1,576 —
$n_g - n_p$ = 0,001 à 0,003 (ML et Lx).

Gisement dans les chloritoschistes. Produit secondaire par décomposition du mica noir, de la hornblende, etc.

2° Chlorites d'une biréfringence de 0,005 à 0,010.

Formes nettement monocliniques (CLINOCHLORE).

Les macles se montrent en rosettes hexagonales dans les sections *p* (001). Dans les sections perpendiculaires, il existe de nombreuses lamelles hémitropes distinctes les unes des autres ; leurs teintes de polarisation sont estompées dans les blancs et les jaunâtres avec ombres roulantes.

Les chlorites de ce groupe se présentent en cristaux bien nets, ou en lames à contours parfois déchiquetés dans les roches métamorphiques.

Le signe positif de la bissectrice domine dans la plupart des clinochlores : *tabergite*, *leuchtenbergite*, *corundophyllite*, *kämme-*

rérite, *kotchubéite*, *chlorite de Mauléon*. On trouve cependant des clinochlores (*tabergite*) négatifs. La bissectrice fait avec *p* un angle de 12 à 15°.

L'angle des axes (2V), voisin de 0° dans quelques variétés, peut atteindre 55° dans le clinochlore qui possède une dispersion inclinée faible avec $\rho < v$.

$n_g = 1,596$ (ML et Lx) clinochlore.
$n_m = 1,588$.
$n_p = 1,585$.
$n_g - n_p = 0.011$ clinochlore.

3° Chlorites d'une biréfringence voisine de 0,014.

Ces chlorites forment des masses lamellaires (MÉTACHLORITE) et plus fréquemment des houppes ou des sphérolithes (DELESSITE) à croix noire, à fibres positives, se teintant entre les nicols croisés de couleurs franches, jaunes ou rouges.

(—) 2 V = 0° ou très petit.

Bissectrice négative.

Gisement : vacuoles des roches basiques anciennes (mélaphyres, porphyrites), serpentines, etc.

$$\frac{n_g + n_m + n_p}{3} = 1,619 \text{ (Bishopton, ML et Lx).}$$
$$n_g - n_p = 0,014.$$

CHLORITOÏDE

$H^2 (Fe, Mg) Al^2 Si O^7$.

Densité 3,52 à 3,57. Difficilement fusible, attaquable par l'acide sulfurique. Gisement dans les schistes métamorphiques.

I. Triclinique[1], très voisin d'être monoclinique ; symétrie apparente rhombique et même hexagonale ; *mt* $(1\bar{1}0)(110) = 121°$. Presque isomorphe avec la biotite.

[1] TSCHERMAK et SIPÖCZ. *Sitzungb. Akad. Wiss.* Vienne, LXXVIII, 1878.
V. FOULON. *Iahrb. K. K. géolog. Reichsanst*, XXXVIII, 220, 1883.
BARROIS. *Bull. Soc. min.*, VII, 37, 1884.
DES CLOIZEAUX. Id. VII, 80, 1884.
A. LACROIX. Id. VIII, 42, 1885.

Tables aplaties suivant la base p (011). Clivages très faciles suivant p (001), difficiles suivant m (1$\bar{1}$0) et t (110), très difficiles suivant g^1 (010). Couleur vert bleuâtre, très polychroïque même en lames minces. Zone d'aplatissement perpendiculaire à p (001) négative. Extinctions presque longitudinales, difficiles à constater dans les sections perpendiculaires au plan des axes optiques à cause de la grande dispersion.

II. Groupements par association suivant p (001) comme face d'association avec axe de rotation apparente pseudo-ternaire, perpendiculaire à p, et rotation de 120°.

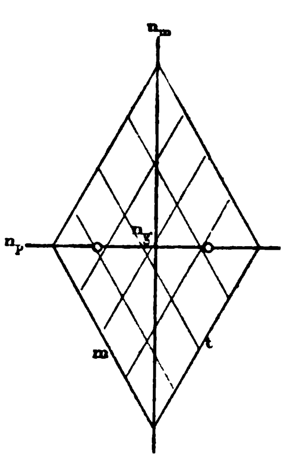


Fig. 57. — Section p.

Les plaques parallèles à p (001) montrent des plages irrégulières s'éteignant à 60° les unes des autres; les sections perpendiculaires à p s'éteignent presque simultanément. Les teintes très dissemblables de polychroïsme rendent ces associations fort apparentes.

Elles sont multiples et simulent de fines bandes hémitropes rappelant celles des feldspaths tricliniques, dans les sections perpendiculaires à p.

III. Plan des axes optiques presque parallèle au plan bissecteur de l'angle obtus des clivages mt (1$\bar{1}$0) (110), c'est-à-dire à un plan voisin du plan de symétrie des micas.

La bissectrice est positive n_g et presque perpendiculaire à p (001) : elle subit une dispersion considérable dans le plan bissecteur de l'angle aigu mt (1$\bar{1}$0) (110), [g^1 (010)] : $\rho > v$ avec dispersion horizontale énergique.

Polychroïsme intense et à teintes très caractéristiques, notamment suivant n_m, se conservant même en lames très minces.

(+) 2 V = 45° (vert).

n_g jaune verdâtre.
n_m bleu indigo.
n_p vert olive.

$N = 1{,}718.$

$n_g - n_p = 0{,}015$ (Lx)

L'*ottrélite*, la *masonite*, la *phyllite*, la *vénasquite*, la *sismondine* sont identiques au chloritoïde[1].

CLINTONITE

$H^4 M^6 R^6 Si^2 O^{21}$ M = Ca, Mg, Fe R = Al, Fe.

Densité 3,0 à 3,1. Infusible, assez difficilement attaquable par les acides. Gisement dans les schistes métamorphiques, les amphibolites et les cipolins.

I. Monoclinique[2], isomorphe avec la biotite. Formes pseudo-rhombiques avec angle de 120°, pseudo-hexagonales, triangulaires, avec profil *m* (110), g^1 (010), aplatissement suivant *p* (001) et facettes a^2 (10$\bar{2}$), $e^{9/2}$ (029), $b^{9/2}$ (11$\bar{9}$), $d^{1/2}\, b^{1/4}\, g^{1/4}$ (134), etc.

La face *p* d'aplatissement correspond à un clivage presque micacé, mais cassant et ne présentant ni la flexibilité de celui du mica, ni la plasticité de celui des chlorites. Zone d'allongement apparent perpendiculaire à *p*, positive suivant les traces rectilignes et serrées du clivage facile, et présentant des extinctions sensiblement à 0°.

II. Associations identiques à celles des micas et des chloritoïdes avec axe de rotation pseudo-ternaire perpendiculaire à *p*. Tantôt la face d'association est *p*, et les lamelles maclées sont surtout visibles dans les sections perpendiculaires à *p*, grâce au polychroïsme variable.

Souvent aussi les sections *p* montrent des rosettes composées de trois losanges juxtaposés, ou même de six secteurs triangulaires.

Fig. 58. — Section *p*.

Il est remarquable que les étoilements obtenus à l'aide de chocs, perpendiculairement à *p*, soient inverses de ceux que donnent les micas : avec une pointe aiguë (*schlagfigur*), ces étoilements sont

[1] A. Lacroix. *Bull. Soc. min.*, VIII, 42 (1885).

[2] Tschermak et Sipöcz. *Sitzungb. Akad. Wiss.* Vienne, LXXVIII, 1878.

perpendiculaires à m, m, g^1; avec une pointe mousse (*druckfigur*), ils leur sont parallèles.

III. Bissectrice toujours négative n_p, sensiblement perpendicu-

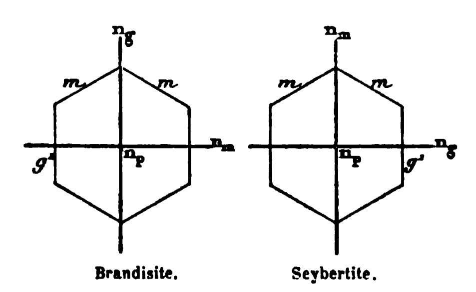


Fig. 59. — Section p.

laire à p (001); plan des axes tantôt parallèle à g^1 (010) (*xantophyllite*, *brandisite*), tantôt perpendiculaire (*seybertite*); l'angle des axes est toujours très petit; dispersion faible avec $\rho < v$.

Polychroïsme assez faible dans les teintes jaune brunâtre ou jaune verdâtre.

$$(-)\ 2V = 0 \text{ à } 20^\circ.$$

$n_g = 1,658$	(Warwick, ML et Lx),	jaune brunâtre pâle.
$n_m = 1,657$	—	Id.
$n_p = 1,646$	—	incolore.

$$n_g - n_p = 0,012.$$

CORDIÉRITE

$Mg^3 (Al, Fe)^6 Si^8 O^{28}$.

Densité 2,60 à 2,66. L'acide sulfurique attaque faiblement la cordiérite en déterminant à sa surface des figures de corrosion. Gisement dans les gneiss, le granite, la granulite, quelques roches volcaniques.

I. Orthorhombique. $a = 0,587$, $b = 1$, $c = 0,559$, $pe^1 = 150°49'$, $pb^{1/2} = 132°\ 12'$, mm $(1\bar{1}0)$ (110) sur h^1 (100) = 119° 10'; prismes allongés: g^1 (010), g^3 (310), m (110), h^1 (100), p (001), avec tendance à l'hexagone $mm\ g^1$ (110) $(1\bar{1}0)$ (010).

Zone d'allongement h^1g^1 (100) (010) négative. Extinctions à 0°.

Clivage g^1 (010) assez mal marqué et se dessinant surtout dans la cordiérite en voie d'altération.

Inclusions caractéristiques de sillimanite, de spinelles verts. Cassures étoilées et sinueuses, se remplissant d'une matière jaune isotrope. Les sections longitudinales sont rectangulaires, les sections transversales, hexagonales ou ovales.

II. Macles suivant m (110); parfois associations de lamelles hémi-

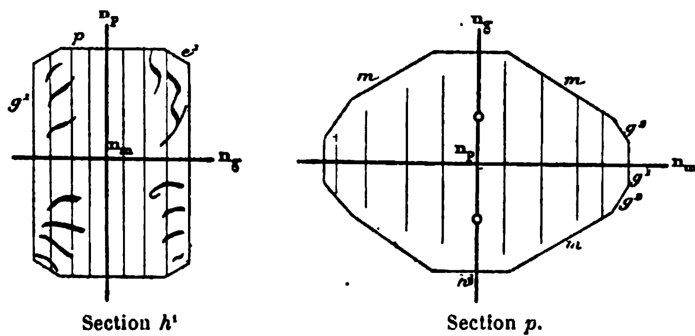


Fig. 60.

tropes nombreuses, parfois pénétration de trois cristaux comme dans l'aragonite. Les lamelles hémitropes rappellent celles des feldspaths tricliniques. Dans p, l'extinction a lieu à 30° environ et symétriquement, de part et d'autre de la ligne de macle.

III. Plan des axes optiques parallèle à h^1 (100). La bissectrice est négative n_p et perpendiculaire à p (001).

Polychroïsme le plus souvent insensible en plaques minces : autour des inclusions de zircon et d'apatite, petites couronnes jaunâtres polychroïques[1] en jaune foncé suivant n_p.

(—) 2 V = 40° à 84°.

	(Jaune, Dx, moyenne)	(ML et Lx, Tvedestrand.)	
n_g =	1,551	1,539	bleuâtre violacé.
n_m =	1,549	1,536	bleuâtre pâle.
n_p =	1,543	1,532	jaune pâle, jaune. d'or foncé (auréoles).

$n_g - n_p$ = moyenne 0,008 (de 0,006 à 0,010).

La cordiérite, en se décomposant, donne naissance à des produits souvent amorphes et parfois chargés de micas blancs

[1] Rosenbusch. *Die Steigerschiefer*. Strasbourg, 143, 1877.

hydratés, ayant reçu des noms spéciaux (*polychwilite, aspasiolite, chlorophyllite, bonsdorffite, esmarkite, praséolite, péplolite, pinite, oosite, gigantolite, ibérite, fahlunite, weissite, pyrargillite, auralite, huronite, raumite, groppite*).

CORINDON

Al^2O^3.

Densité, 3,9 à 4. Incolore ou bleu pâle; se trouve dans les schistes métamorphiques, les granulites, granites.

I. Pseudo-rhomboédrique. $a = 1$, $c = 1,364$, pp $(10\bar{1}1)$ $(0\bar{1}11)$ $= 86° 4'$. Faces d^1 $(11\bar{2}0)$, a^1 (0001), e^3 $(40\bar{4}1)$ dominantes.

Clivages difficiles p $(10\bar{1}1)$ et a^1 (0001) peu nets en lames minces. Sections hexagonales souvent aplaties suivant a^1 (0001). Grand relief dû à la dureté du corindon, qui dans les préparations microscopiques le laisse plus épais que les minéraux englobants.

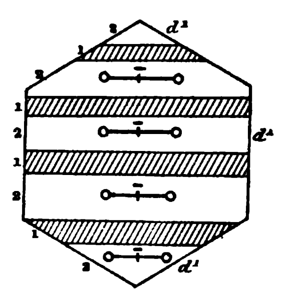


FIG. 61. — Section a^1.

II. Anomalies optiques fréquentes et distinctes même en lames minces[1]. Elles se résument en plages et lamelles hémitropes s'éteignant parallèlement et perpendiculairement aux côtés de l'hexagone d^1 $(11\bar{2}0)$, dans les sections parallèles à a^1 (0001). Le plan des axes optiques est perpendiculaire à l'un des côtés de l'hexagone d^1 $(\bar{1}120)$. Le réseau serait donc orthorhombique avec axe de symétrie pseudo-ternaire.

Il y a en outre des macles répétées suivant p $(10\bar{1}1)$.

III. Double réfraction à un axe négatif (—) n_p ou à deux axes rapprochés avec bissectrice négative n_p perpendiculaire à a^1.

Polychroïsme variant avec l'intensité de la coloration (variétés

[1] MALLARD. *Anomalies optiques.*
Von LASAULX. *Zeitsch. f. Krystall.*, X, 346, 1885.

bleues) qui présente souvent des taches plus foncées irrégulièrement réparties.

$n_g^* = 1,769$ (Jaune, Ozann). bleu.
$n_p^* = 1,760$ incolore ou glauque.

$n_g - n_p = 0,009$.

CYMOPHANE (CHRYSOBÉRYL)

$Gl\,Al^2\,O^4$.

Densité 3,72 à 3,74. Infusible, inattaquable. Gisement dans certaines granulites, dans les micaschistes de l'Oural (alexandrite). Vert pâle, incolore en lames minces.

I. Orthorhombique, pseudo-hexagonale. $a = 0,580$, $b = 1$, $c = 0,470$, mm (110) (1$\bar{1}$0) = 119° 46′, $p\,b^{1/2}$ (001)(111) = 136° 52′.

Clivages m (110) et g^1 (010) assez imparfaits. Stries suivant la trace g^1 sur p.

Allongement suivant la zone pg^1 (001) (010), aplatissement sui-

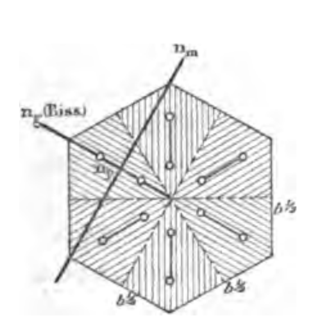


Fig. 62. — Section p.

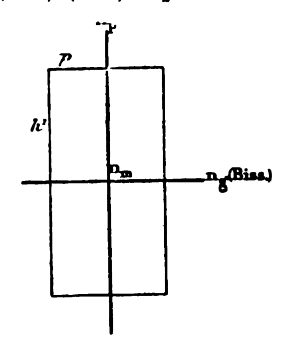


Fig. 63. — Section g.

vant p (001), produisant des sections à allongement apparent positif; grand relief apparent.

II. Associations de six individus se correspondant deux à deux, autour d'un axe pseudo-senaire perpendiculaire à p.

Anomalies optiques disparaissant par la chaleur.

III. Plan des axes parallèle à g^1 (010); bissectrice positive n_g perpendiculaire à h^1 (100): $\rho > \nu$.

Les cristaux maclés possèdent tous une normale optique négative n_p commune.

$$(+)\ 2\,V = 44°\ \rho > v.$$

$\mathbf{n_g} = 1,756$ jaune (Dx).
$\mathbf{n_m} = 1,748.$
$\mathbf{n_p} = 1,747.$

$$\mathbf{n_g} - \mathbf{n_p} = 0,009.$$

DANBURITE

$Ca\ B^2\ Si^2\ O^8$.

Densité 2,98 à 3,02. Fusion facile en colorant la flamme en vert. Gisement : roches métamorphiques.

I. Orthorhombique. $a = 0,544$, $b = 1$, $c = 0,481$. Géométriquement isomorphe de la topaze; mm (110) (1$\bar{1}$0) = 122° 52'.

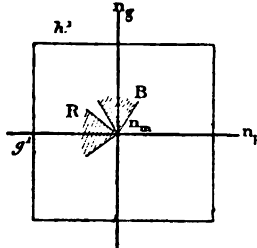


Fig. 64. — Section p.

Clivage parfait suivant p (001), cassures nombreuses et irrégulières. Allongement suivant la zone $\pm\ h^1g^1$ (100) (010). Incolore en lames minces.

III. Plan des axes optiques parallèle à p (001). Bissectrice négative n_p, perpendiculaire à g^1 (010) pour les rayons jaunes et rouges; pour les rayons bleus, n_p est la normale optique [1].

Grande dispersion des axes optiques : $\rho < v$ autour de n_p.

(—) 2 V rouge = 87° environ.
(+) 2 V bleu = 90° environ.

$\mathbf{n_g} = 1.6331$ (Rouge, Hintze).
$\mathbf{n_m} = 1,6303.$
$\mathbf{n_p} = 1,6258.$

$$\mathbf{n_g} - \mathbf{n_p} = 0,007.$$

[1] Des Cloizeaux. *Bull. Soc. Min.*, III, 194, 1880.
Hintze. *Zeitsch. f. Krystall.*, VII, 296, 1883.



DATHOLITE

$H^2 Ca^2 B^2 Si^2 O^{10}$.

Densité 2,8 à 3. Facilement attaquable par l'acide chlorhydrique en faisant gelée. La dissolution, évaporée à sec et reprise par l'alcool, donne à celui-ci une flamme verte.

Gisement : produit secondaire de quelques roches basiques.

I. Monoclinique. $a = 0{,}633$, $b = 1$, $c = 0{,}636$, mm (110) $(1\bar{1}0) = 115° 21'$, ph^1 (001) (100) $= 90° 9'$.

Clivage net suivant h^1 (100).

Pas d'allongement : la datholite se présente d'ordinaire en petites masses formées de cristaux raccourcis. On la trouve aussi fibreuse (botryolite) ; cette variété d'Arendal (Norwège), considérée parfois comme espèce distincte, n'est, en réalité, que de la datholite allongée suivant la zone ph^1 (001) (100). Cet allongement est tantôt positif, tantôt négatif, le plan des axes optiques lui étant transversal[1].

Dans cette variété fibreuse, on observe des extinctions moirées, rendues souvent imparfaites par la présence de matière amorphe.

Pseudomorphose en calcédoine (*haytorite*).

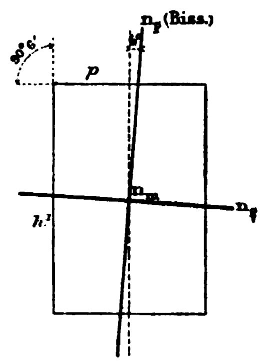


Fig. 65. — Section h^1.

II. Groupements à axes parallèles, groupement suivant $d^{1/8}$ $d^{1/8}$ $h^{1/4}$ (414) très rare (Liweh.).

III. Plan des axes optiques parallèle à g^1 (010). La bissectrice est négative (—) n_p et presque normale à p (001); elle fait un angle de 4° environ avec l'arête h^1g^1 (100)(010), dans l'angle aigu ph^1 (001) (100). Incolore.

(—) $2V = 74° 25'$ jaune. (Dx).

[1] Lacroix. *Bull. Soc. Min.*, VIII, 433, 1885.

Rouge	Jaune
$n_g = 1,667$	1,670 (Dx).
$n_m = 1,651$	1,654.
$n_p = 1,625$	1,626.

$$n_g - n_p = 0,044.$$

DIASPORE

$H\,Al\,O^2$.

Densité 3,3 à 3,6. Décrépite, infusible, inattaquable. Gisement, schistes métamorphiques à corindon.

I. Orthorhombique. $a = 0,644$, $b = 1$, $c = 1,067$, mm (110) ($1\bar{1}0$) $= 93°,42'$. Clivage très facile suivant g^1 (010), difficile suivant h^1 (100). Incolore en lames minces.

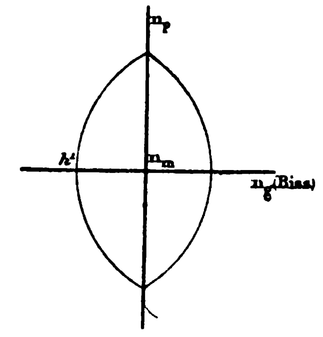


Fig. 66. — Section g^1.

Aplatissement suivant g^1 (010) : masses fibeuses, allongées suivant la zone $h^1\,g^1$ (100) (010) négative : sections g^1 parfois ovales et arrondies.

III. Plan des axes optiques parallèle au clivage g^1 (010). La bissectrice n_g est positive et perpendiculaire à h^1 (100). Dispersion faible $\rho < v$.

Les couleurs de polarisation sont très vives et limpides.

$$(+)\ 2\,V = 84 \text{ à } 85°.$$

$n^g = 1,750$ (Schemnitz, ML et Lx).
$n_m = 1,722$ —
$n_p = 1,702$ —
$n_g - n_p = 0,048$ (ML et Lx)

DISTHÈNE

$Al^2\,Si\,O^5$.

Densité 3,58 à 3,68. Infusible, inattaquable. Gisement dans les

micaschistes à séricite, les leptynites, les schistes métamorphiques.

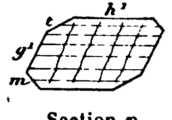
I. Triclinique (pseudo-rhombique, Mallard), $a = 0,916$, $b = 1$, $c = 0,710$; mt ($\bar{1}10$) (110) = 96° 17' sur g^1 (010); g^1h^1 (010) (100) = 106° 11' sur t. Dans la face h^1 (ancien m de M. Des Cloizeaux), l'angle plan des arêtes h^1p, h^1t est presque droit.

Clivages parfait et micacé suivant h^1 (100), imparfait suivant g^1 (010); difficile suivant p (001); mais produisant de fines stries très rectilignes, très rapprochées, traversant rarement tout le cristal.

Zone d'allongement très marquée suivant h^1g^1 (100) (010), positive, avec extinction maximum à 30° dans h^1 (100). Aplatissement suivant le clivage facile h^1.

II. Il existe trois macles [1] avec h^1 (100) comme face d'association :

1° Macle proprement dite avec axe de rotation perpendiculaire, se confondant avec n_p; les deux séries de lamelles hémitropes ont sensiblement le même ellipsoïde optique.



Section p.

2° Association avec axe de rotation parallèle à h^1g^1 (100) (010), 3° association avec axe parallèle à ph^1 (001) (100). Dans la zone d'allongement, les extinctions des cristaux associés sont symétriques et l'angle compris variera de 0° à 60°.

Macle rare en croix [2] analogue à celle de la staurotide, avec les deux individus composants à 60°.

III. Le plan des axes est sensiblement perpendiculaire à h^1 (100), qui contient n_g et n_m; n_g (Dx) fait environ 30° avec h^1g^1 (100) (010) dans l'angle plan aigu de h^1 qui est de 89° 45'.

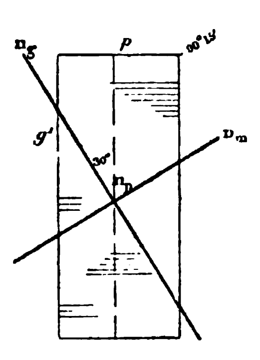


FIG. 67. — Section h^1.

La bissectrice négative n_p est perpendiculaire à h^1 ; $\rho > v$ faible.

[1] Vom RATH. *Zeitsch. f. Krystall.*, III, 1, 1879. — Id., V, 17, 1881. — *Bull. Soc. Min.*, I, 62, 1878. — MALLARD. *Bull. Soc. min.*, II, 9, 1879.

[2] MAX BAUER. *Zeitsch. deut. geol. Gesells.*, XXX, 283, 1878. — Id., XXXI, 244, — XXXII, 717, 1880.

Le polychroïsme est nul en plaque mince, et le disthène s'y montre généralement incolore. Le relief est très marqué.

$$(-)\ 2V = 82°.$$

$n_g =$ $= 1{,}728$ (Saint-Gothard, ML et Lx).
$n_m = 1{,}720$ (Dx) $= 1{,}720$ —
$n_p =$ $= 1{,}712$ —

$n_g - n_p = 0{,}021$ (Andalousie), $0{,}016$ (Saint-Gothard).

DUMORTIÉRITE [1]

$Al^8 Si^3 O^{18}$.

Densité 3,36. La dumortiérite se trouve en petites masses d'apparence fibreuse dans les granulites perçant les gneiss (Beaunant près Lyon), dans la cordiérite de Tvedestrand, dans une granulite du Fichtelgebirge.

I. Orthorhombique [2] pseudo-hexagonal. *mm* (110) (1$\bar{1}$0) = 120°. Clivages *mm* (110) (1$\bar{1}$0), marqués par des cassures irrégulières. Zone d'allongement *mm* (110) (1$\bar{1}$0) négative, très marquée.

II. Macles suivant *m* (110), l'arête *mm* (110) (1$\bar{1}$0) jouant le rôle d'un axe pseudo-ternaire. Etoilements et fines macles polysynthétiques.

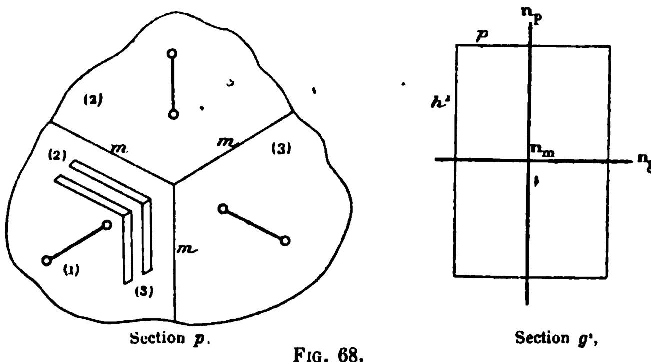


Fig. 68.

III. Plan des axes optiques parallèle à g^1 (010). Bissectrice

[1] Gonnard. *Bull. Soc. Min.*, IV, 2, 1881. — Damour. *Bull. Soc. Min.*, IV, 6, 1881.
[2] E. Bertrand. *Bull. Soc. Min.*, III, 171, 1880.

négative n_p perpendiculaire à p (001). Dispersion nette $\rho < \nu$, d'après M. Bertrand. Nous avons personnellement toujours trouvé $\rho > \nu$.

Polychroïsme extraordinairement intense même en lames minces dans le bleu azur, analogue quant aux directions à celui de l'andalousite.

(—) $2V = 30°$.

n_g jaunâtre presque incolore.
n_m Id. Id.
n_p bleu azur intense.

$N = 1,65$.

$n_g - n_p = 0,010$ (ML et Lx).

Les aiguilles de dumortiérite, associées à la sillimanite, dans la cordiérite de Tvedestrand, développent autour d'elles des auréoles polychroïques aussi intenses que le zircon.

GROUPE DE L'ÉPIDOTE

$H M^2 R^3 Si^3 O^{13}$ M = Ca, Fe, Ce, R = Al, Mn, Fe.

Dans ce qui va suivre, nous n'avons pas changé les notations couramment attribuées à la zoïsite, à l'épidote et aux allanites. Mais il nous paraît intéressant de noter que, par un changement de coordonnées, on peut mettre en évidence le fait que l'épidote est pseudo-rhombique et que la zoïsite est vraisemblablement un assemblage de macles répétées autour d'axes pseudo-binaires : cette explication rendrait compte des associations et des passages si fréquents, en toute proportion, entre la zoïsite, très peu biréfringente, et l'épidote, très biréfringente.

Voici la comparaison entre les deux systèmes de notation de l'épidote : p (Dx) correspond à p, m à m, h^1 à $a^{1/2}$, a^1 à $o^{1/2}$, e^1 à e^1 $a^{1/2}$ à h^1.

Dans le système nouveau, on a les paramètres $a = 1,584$, $b = 1$, $c = 1,640$ et ph^1 (ancien $pa^{1/2}$) $= 90° 25'$; l'arête h^1g^1 joue le rôle d'un axe pseudo-binaire.

ZOÏSITE

MO = Ca O — $R^2 O^3$ = $Al^2 O^3$. Densité 3,25 à 3,36. Difficilement attaquable par les acides, mais faisant gelée après calcination.

Production par actions secondaires ou métamorphiques. Principal gisement dans les schistes cristallins amphiboliques et dans les gabbros, diorites, diabases, etc.

I. Orthorhombique. $a = 0{,}621$, $b = 1$, $c = 0{,}366$, $m\ m$ (110) (1$\bar{1}$0) = 116° 16' sur g^1 (010). Clivage facile suivant g^1 (010).

Allongement suivant la zone de signe tantôt positif, tantôt négatif h^1g^1 (100) (010) ; extinctions à 0°.

II. Groupements suivant les faces du prisme en aggrégats fibreux formant des macles à petites extinctions. Macles compliquées suivant m (110), $g^{5/3}$ (140), h^3 (320); groupements par pénétration[1].

III. Plan des axes optiques variable avec les échantillons et dans les diverses parties d'un même cristal, parallèle tantôt à

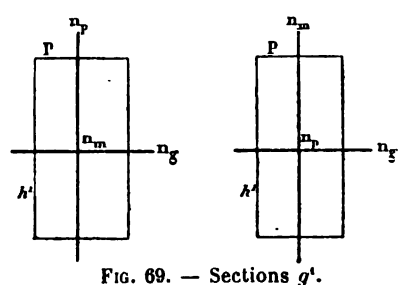


Fig. 69. — Sections g^1.

g^1 (010), tantôt à p (001)[2]. La bissectrice positive n_g est toujours normale à h^1 (100).

Dispersion des axes optiques très forte $\rho < v$. La dispersion des indices principaux est également très grande : en plaques minces, la zoïsite présente des couleurs de polarisation bleu indigo analogues à celles de la pennine et très distinctes des gris habituels du premier ordre : les extinctions se font incomplètement en lumière blanche.

[1] Tschermak et Sipocz. *Sitzungb. K. K. Akad. Wissens.* Vienne, LXXXII, 1880.

[2] Des Cloizeaux. *Manuel de min.*, supplément, xxx, 1874.

La zoïsite est incolore en lames minces; la variété rose, la *thulite,* possède un polychroïsme intense même en lames très minces.

$(+)\ 2V = 12°$ à $28°$.

	Thulite
$n_g = 1,702$ (Carinthie, ML et Lx)	jaune.
$n_m = 1,696$	rose vif.
$n_p = 1,696$	rose clair.

$n_g - n_p = 0,005$ (Tyrol, ML).
— 0,0057 (Duktown, ML).
— 0,006 (Carinthie par différence, ML et Lx).

ÉPIDOTE

MO = CaO, FeO — $R^2O^3 = Al^2O^3, Fe^2O^3$. Densité 3,32 à 3,45. Avec les acides l'épidote se comporte comme la zoïsite.

Même gisement que pour la zoïsite : on trouve en outre l'épidote dans la plupart des roches comme produit de décomposition des silicates ferromagnésiens.

I. Monoclinique $a = 1,583$, $b = 1$, $c = 1,815$, *mm* (110) ($1\bar{1}0$)

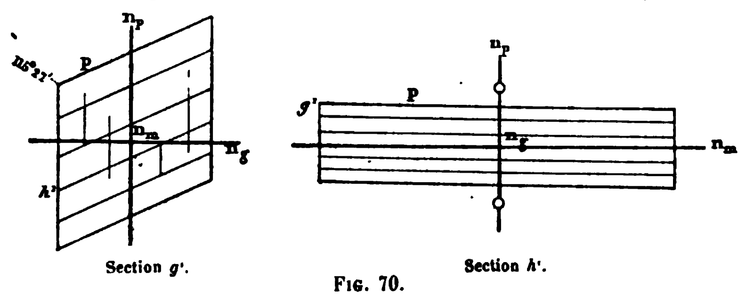


Fig. 70.

sur $h^1 = 69° 56'$, ph^1 (001) (100) = 115° 27'. Clivage parfait suivant p (001), facile suivant h^1 (100); cassures irrégulières suivant g^1 (010).

Allongement suivant la zone tantôt positive, tantôt négative (±) ph^1 (001) (100); extinctions à 0°. Les prismes d'épidote se groupent souvent en éventail; l'épidote se présente aussi en grains irréguliers.

II. Macles suivant h^1 (100) avec axe de rotation perpendiculaire et rotation de 180°.

III. Plan des axes optiques parallèle à g^1 (010) (transversal à l'allongement). Bissectrice négative n_p sensiblement parallèle à h^1g^1 (100) (010).

Dispersion inclinée avec $\rho > \nu$.

Coloration et polychroïsme souvent très faibles et variables en plaques minces dans les teintes jaunes : les plages les plus colorées sont les plus biréfringentes.

La biréfringence est également très variable dans une seule et même section[1] : le maximum seul est constant et très élevé; les couleurs de polarisation sont limpides et lavées.

(—) 2 V = 44° Dx.

n_g = 1,768 (Rouge, Klein)		verdâtre.
n_m = 1,754	1,720 à 1,753 (Dx).	brunâtre.
n_p = 1,730		jaune citron.

$n_g - n_p$ = 0,038 à 0,056 (maximum, ML).

Piémontite (*withamite*). Epidote ferrifère et manganésifère. $R^2O^3 = Al^2O^3, Mn^2O^3, Fe^2O^3$. Gisements manganésifères de Saint-Marcel, Jacobsberg (piémontite), porphyrites (Ecosse), porphyre rouge antique (withamite), micaschistes (Japon).

La piémontite ne diffère de l'épidote ordinaire que par sa couleur dans les teintes rouges, et la substitution de n_g à n_p[2]. La bissectrice devenue positive n_p est comme dans l'épidote sensiblement parallèle à h^1g^1 (100) (010).

Polychroïsme intense, même en plaques minces.

n_g rouge vif.
n_m améthyste à rose clair.
n_p orange à jaune citron.

$n_g - n_p$ = 0,05 (withamite, Lx).

ALLANITE (Orthite)

MO = FeO, MnO, CeO, LaO, DyO, CaO, MgO.— $R^2O^3 = Al^2O^3$, Fe^2O^3. Densité 3,53 à 3,79. Attaquable par les acides.

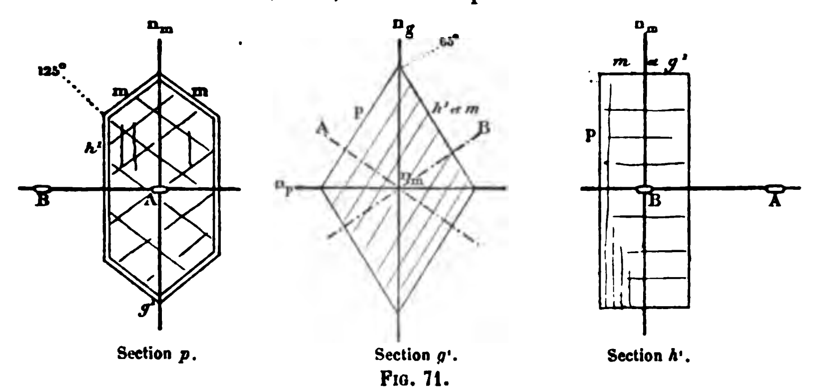
[1] Michel Lévy. *Bull. Soc. Min.*, VI, 1883.

[2] Laspeyre. *Zeitsch. f. Krystall.*, IV, 435, 1880. — Lacroix. *Bull. Soc. Min.*, IX, 75, 1886.

I. Monoclinique, isomorphe avec l'épidote. Clivages *mm* (110) ($1\bar{1}0$) interrompus ; cassures suivant *p* (001) et h^1 (100). Cristaux fréquemment zonés, de première consolidation, principalement dans les roches acides granitoïdes.

Allongement suivant la zone ph^1 (001) (100) tantôt positive, tantôt négative : extinction à 0°. Allongement suivant la zone h^1g^1 (100) (010) dans les volumineux cristaux d'orthite des pegmatites de Norwège.

Au contact du mica noir, l'allanite[1] produit dans ce minéral des



Section *p*. Section g^1. Section h^1.

Fig. 71.

auréoles polychroïques aussi foncées et aussi intenses que celles produites par le zircon.

II. Macles suivant h^1 (100).

III. Plan des axes optiques parallèle à g^1 (010). Bissectrice négative n_p se confondant sensiblement avec la bissectrice de l'angle obtus ph^1 (001) (100).

Les axes optiques sont respectivement et sensiblement perpendiculaires à *p* (001) et à h^1 (100). Grande dispersion des indices principaux rendant l'extinction parfois confuse en lumière parallèle.

Polychroïsme marqué dans les teintes brun rouge et brun pâle verdâtre. Fort relief.

$$(-)\ 2V = 65 \text{ à } 70°.$$

n_g	brun jaune.
$n_m = 1{,}682$ (Orthite de Nöskilen, Norwège. ML et Lx).	brun rouge foncé.
n_p (supérieur à 1,78 dans l'allanite d'Edenville).	brun verdâtre pâle.

$n_g - n_p = 0{,}032$ Edenville, (ML et Lx).

0,000 Norwège (Orthites).

[1] Michel Lévy et Lacroix, *Bul. Soc. Min.*, XI, p. 65, 1888.

La biréfringence est très variable et peut devenir nulle, ainsi qu'on l'observe dans la plupart des orthites de Norwège et du Groënland (Des Cloizeaux), qui sont tantôt monoréfringentes, tantôt formées d'un mélange de plages biréfringentes et de plages n'ayant aucune action sur la lumière polarisée.

Il y a, dans ce cas de l'isotropie, absence de polychroïsme; la couleur du minéral en lames minces varie du brun rouge au gris verdâtre.

EUCLASE

$H^2 Gl^2 Al^2 Si^2 O^{10}$

Densité 3 à 3,1. Fusible avec gonflement à haute température, inattaquable aux acides. Gisement dans les schistes chloriteux avec quartz et topaze.

I. Monoclinique ; $a = 0,324$; $b = 1$; $c = 0,333$; ph^1 (001) (100) = 100° 16' ; $m\,m$ (110) (1$\bar{1}$0) = 144° 40'. Allongement $h^1\,g^1$, extinction maximum à 41° ; zone positive. Clivage très facile g^1 (010).

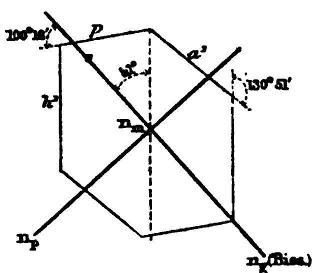


Fig. 72. — Section g^1.

III. Plan des axes dans g^1 (010) ; la bissectrice positive n_g fait avec h^1g^1 un angle de 41° à 42° dans l'angle obtus ph^1 ; elle est donc parallèle, à 8° près, à la trace a^1.

$$(+)\ 2\,V = 50°\ (Dx).$$

$n = 1,6710$ (jaune, Brésil, Dx).
$n_m = 1,6553$ —
$n_p = 1,6520$ —

$$n_p - n_g = 0,019.$$

EUDIALYTE (Eucolite)

$Na^2 (Ca, Fe)^2 (Si, Zr)^6 O^{15}$

Ro = Fe O, Ca O, Na O. Densité 2,84 (eucolite) à 2,95 (eudialyte). Soluble dans les acides en faisant gelée.

Le gisement de ce minéral est la syénite éléolitique du Groënland (eudialyte), de Norwège (eucolite).

I. Rhomboédrique ; $a = 1$; $c = 2,112$; pp $(10\bar{1}1)$ $(0\bar{1}11)$ $= 73° 30'$. Clivage très rectiligne et fin suivant a^1 (eudialyte) et d^1 (eucolite). Parallèlement à l'axe optique, on observe parfois des traînées d'inclusions, légèrement polychroïques, d'une substance rougeâtre à allongement positif.

III. Double réfraction à un axe positif n_g (eudialyte) ou négatif n_p (eucolite).

Ces substances sont, en lames minces, à peine colorées en rosâtre, et ne sont pas sensiblement polychroïques.

$\mathbf{n}_g^o = 1,622$ (eucolite du Langensundfjord, ML et Lx)
$\mathbf{n}_p^o = 1,618$

$\mathbf{n}_g - \mathbf{n}_p = 0,004$ (eucolite)
$\mathbf{n}_g - \mathbf{n}_q = 0,003$ (eudialyte).

GROUPE DES FELDSPATHS

FELDSPATHS EXCLUSIVEMENT ALCALINS (1 : 3 : 12).

ORTHOSE

$Or = K^2 Al^2 Si^6 O^{16}$

Feldspath à base de potasse, associée à plus ou moins de soude. Densité 2,54 à 2,57. Inattaquable aux acides, facilement attaquable par l'acide fluorhydrique. Fusible au rouge blanc ; incristallisable par fusion purement ignée.

I. *Monoclinique*; $a = 0{,}659$, $b = 1$, $c = 0{,}556$, mm (110) (1$\bar{1}$0) sur $h^1 = 118°48'$; ph^1 antérieur (001) (100) = 116° 7'. Faces p, (001), g^1 (010) développées; m (110), a^1 ($\bar{1}$01), $a^{1/2}$ ($\bar{2}$01), moins développés; $e^{1/2}$ (021), $b^{1/2}$ ($\bar{1}$11), g^2 (130), plus rares.

Clivages p (001) très facile, g^1 (010) facile ; leurs traces manquent parfois dans les plaques minces; elles y sont toujours très fines et parfaitement rectilignes. Cassures h^1 (100) frustes, mais parfois bien marquées.

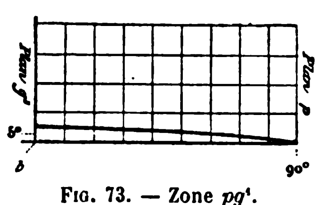


Fig. 73. — Zone pg^1.

Allongement suivant la zone négative (—) pg^1 (001) (010) avec extinction maximum de + 5° (signe de M. Max Schuster) dans g^1 (010). *Aplatissement* suivant g^1 (010), simulant une zone d'allongement négative (—) suivant la trace de g^1 (010) sur les plans passant par l'orthodiagonale, avec extinctions constantes à 0°.

Sphérolithes négatifs (—) à fibres pg^1 (001) (010) dans les orthophyres micacés, dans les pyromérides, etc. Structure zonaire très marquée.

Parfois, dans les orthoses vitreux (sanidine), éclat bleu (schillérisation) suivant un des clivages faciles, dû à de fines inclusions dans des plans de clivage très rapprochés (Esterel, Lugano, etc.).

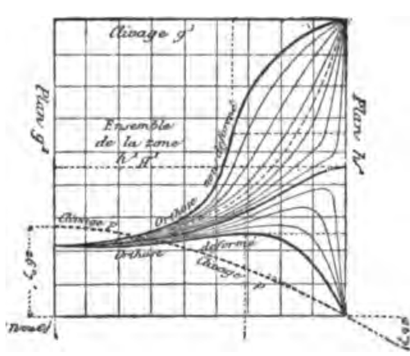


Fig. 74. — Zone h^1g^1.

Pseudomorphoses en quartz, en muscovite, en damourite.

Gisements extrêmement variés; les cristaux de première consolidation sont allongés suivant pg^1 (001) (010) ou h^1g^1 (100) (010); les microlithes aplatis suivant g^1 (010) ou allongés suivant pg^1 (001) (010). Les roches métamorphiques (schistes, porphyroïdes) en contiennent des cristaux arrondis, parfois entourés d'une mince bordure d'orthose maclé ou d'oligoclase. Les calcaires jurassiques marneux du Dauphiné (Lory) présentent de petits cristaux d'orthose aplatis suivant p.

II. *Groupements et macles*. 1° *Groupement de Carlsbad;* suivant g^1 avec rotation de 180° autour de h^1g^1 (100) (010). Zones de symétrie : *a*) perpendiculaire à g^1 (010), négative suivant la trace du plan de mâcle (—) et s'éteignant à 0°. *b*) Parallèle à h^1g^1 (100) (010) à signe variable (±); si l'orthose n'est pas déformé, les extinctions varieront de 21° dans g^1 (010) à 90° dans h^1 (100).

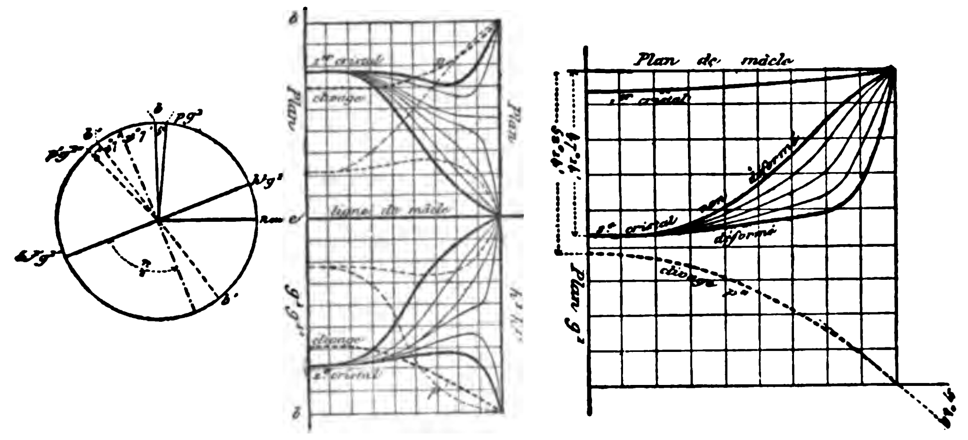
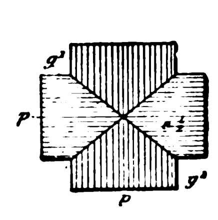


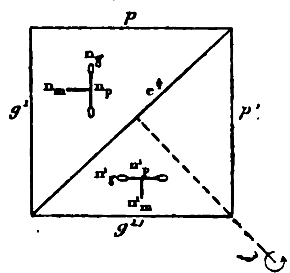
Fig. 75. — Macle de Carlsbad, zone h^1g^1. Fig. 76. — Macle de Carlsbad, zone pg^1.

Si l'orthose est déformé, la zone h^1 g^1 (100) (010) est positive (+); les extinctions partiront de 21° dans g^1 (010), passeront par un maximum variable et tomberont à 0° dans h^1 (100).

2°) *Mâcle de Baveno*. Face d'association $e^{1/2}$ (021) de la zone pg^1



Macle en croix de Baveno.



Macle simple de Baveno.

Fig. 77. — Sections normales à pg^1.

(001) (010), avec axe de rotation perpendiculaire; $p\,e^{1/2}$ (001)(010) = 135° à 3' près; *pp*' et $g^1g^{1'}$ sont donc sensiblement égaux à 90°.

a) Zone de symétrie perpendiculaire à $e^{1/2}$ (021). Dans les orthoses

non déformés, l'axe de la zone est sensiblement dans le plan n_g n_m, à 45° de ces indices principaux. Les extinctions varient de 45° [plan perpendiculaire à pg[1] (100) (010)] à 0° et resteront longtemps voisines du maximum; la zone rapportée à la trace du plan de macle, est négative (—).

Orthoses déformés; n_g remplace n_m; mêmes résultats.

b) Zone pg[1] (001) (010). Les clivages sont tous parallèles à la ligne de macle; les extinctions de chaque cristal varieront de 0° à 5°, le maximum de l'un correspondant au 0° de l'autre. La zone est négative (—).

3° *Macle de Manebach ou de l'île d'Elbe.* Face d'association *p* (001) avec axe de rotation perpendiculaire. Les arêtes *pg*[1] (001) (010) et *ph*[1] (001) (100), les clivages *p* (001) et *g*[1] (010) des individus maclés sont respectivement parallèles entre eux.

a) Zone de symétrie perpendiculaire à *p* (001). Dans les orthoses non déformés, l'arête de zone est contenue dans le plan n_m n_g, à 5° de n_m. Les extinctions varient donc de 5° à 90°, avec passage dans une position voisine d'une section cyclique. La zone est de signe variable (±). Dans les orthoses déformés, l'arête de zone est à 5° de n_g. Les extinctions varient de 5° à 0° et la zone, rapportée à la trace de la macle, est négative (—).

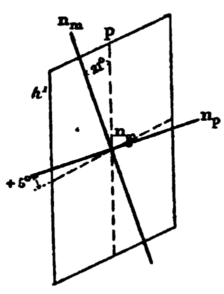


Fig. 78.
Orthose non déformé.
Section g^1.

b) Zone de symétrie *pg*[1] (001) (010). Les clivages sont tous parallèles à la mâcle; la zone est négative (—); les extinctions varient de 0 à 5°

III. Les *propriétés optiques* de l'orthose varient avec la température; à partir d'une certaine température variable avec les échantillons (de 600° à 1000°), les déformations deviennent permanentes (Dx).

La bissectrice négative n_p est fixe et située dans g[1] (010) à + 5° de l'arête *pg*[1] (001) (010), c'est-à-dire dans l'angle obtus *ph*[1] (001) (100).

Dans les orthoses non déformés (qui constituent l'immense majorité), *g*[1] (010) contient n_m à 21° de *h*[1]*g*[1] (100) (010) et n_g coïncide avec l'hortodiagonale *ph*[1] (001) (100). Le plan des axes

optiques est donc très voisin de p (001). Dans les orthoxes déformés n_g prend la place de n_m et réciproquement. La dispersion des axes optiques donne $\rho > \nu$, tant que le plan des axes est perpendiculaire à g^1 (100), et $\rho < \nu$ quand ce plan passe dans g^1 (010).

$2 V_J$ dans p =	69°43'	n_g = 1,5260	n_m = 1,5237	n_p = 1,5190	(St-Gothard, Dx).
	69° 1'	1,5243	1,5223	1,6181	—
$2 V_B$ dans g^1 =	11°51'	1,5356	1,5355	1,5265	(Wehr à 18°, Dx).
$2 V_R$	13°34'	1,5240	1,5239	1,5170	—

Moyenne $n_g - n_p = 0,007$.

ANORTHOSE [1]

$(K,Na)^2 Al^2 Si^6 O^{16}$ = Or + Ab.

Au point de vue chimique, orthose sodifère, ou albite riche en potasse. D'après la théorie de M. Tschermak, mélange d'albite et d'orthose entre $Ab_2 Or_1$ et $Ab_{4,5} Or_1$. Densité 2,57 à 2,60. Inattaquable. Fusible au rouge blanc, incristallisable par fusion purement ignée.

I. *Triclinique.* Pseudo-monoclinique, $a = 0,636$, $b = 1$, $c = 0,547$, ph^1 (001) (100) = 116°22', pg^1 (001) (010) voisin de 90° ; clivages faciles p (001) et g^1 (010) ; l'allongement caractéristique se fait suivant la zone h^1g^1 (100) (010) de signe variable (±) et présentant toutes les extinctions possibles de 0° à 45°. La zone pg^1 (001) (010) négative (—) présente un maximum de 9°. La zone perpendiculaire à g^1 (010), rapportée à la trace du plan g^1 (010), est négative ; les extinctions y varient de 0° à 1° seulement.

Gisement. L'anorthose a été signalé dans les roches volcaniques, dans les syénites éléolitiques et augitiques, dans les porphyroïdes du plateau central, etc.

II. Macles et groupements de Carlsbad, Baveno, Manebach. Macles de l'albite et de la péricline d'une finesse extrême et à séparations mal définies. La trace de la macle de la péricline sur g^1 se

[1] Förstner. *Zeits. f. Krystall.*, I, 547. 1877. — VIII, 125, 1883. — IX, 333, 1884.
Klein. *Neues Jahrb.*, 518, 1879.
Brögger. *Die Silur. Etagen*, etc. Christiania, 1882.
F. Fouqué. *Bull. soc. min.*, VI, 197, 1884.

fait à + 4 à 8° de pg^1 comme dans l'albite, en prenant les signes dans le sens de M. Max Schuster, c'est-à-dire ici dans l'angle obtus ph^1 (001) (100).

Macle suivant $a\,^1/_2$ ($\bar{2}01$) avec axe de rotation perpendiculaire.

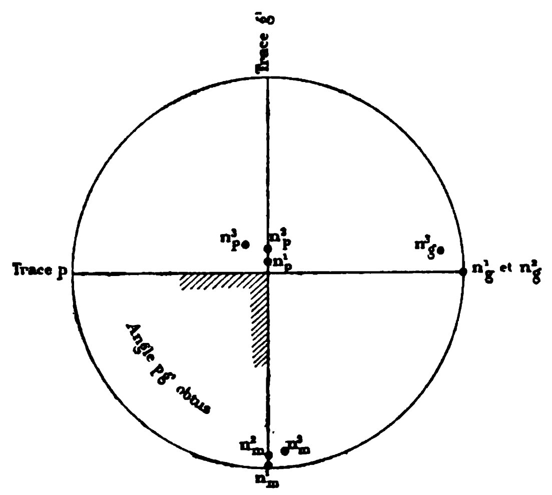


FIG. 79. — Projection sur un plan perpendiculaire à pg^1 des indices principaux de l'orthose (n^2), de l'anorthose (n^1), du microcline (n^3).

III. Les extinctions sur p (001) varient de + 1° 30' à + 5° 45' et sur g^1 (010) de + 6° à + 9° 48'.

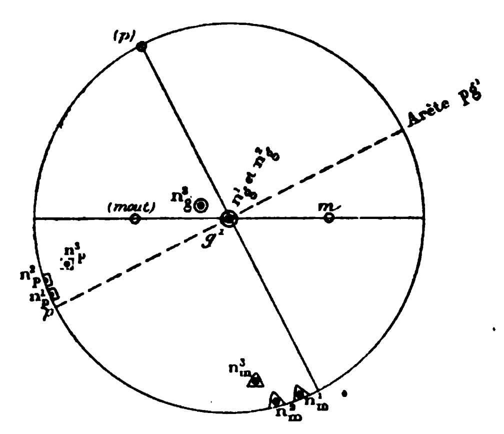


FIG. 80. — Projection sur g^1.

La bissectrice n_p est sensiblement perpendiculaire à $a^{1/2}$ ($\bar{2}01$); la dispersion des axes donne $\rho > v$.

La normale optique n_g est visible en lumière convergente dans les clivages g^1 (010).

Les propriétés optiques sont variables avec la température; l'anorthose deviendrait entièrement monoclinique entre 86° et 264°.

(—) 2 E_J = 72 à 88° (Förstner).
65 à 75° (Quatro-Ribeyras, Fouqué).

(—) 2 V moyenne = 56°.

n_g dans le jaune = 1,5305 (Quatro-Ribeyras, Fouqué).
n_m — = 1,5294 — —
n_p — = 1,5234 — —

$n_g - n_p = 0,0071$.

MICROCLINE [1]

$K^2 Al^2 Si^6 O^{16}$.

Même composition et mêmes propriétés chimiques que l'orthose. Densité 2,57.

I. *Triclinique*. Formes et angles extrêmement voisins de ceux de l'orthose; $a = 0,65$, $b = 1$, $c = 0,55$; pg^1 (001) (010) = 90°16'. Clivages p (001), g^1 (010). Cristaux des granites et des granulites, formant des plages grenues toujours maclées, associées au quartz et à l'albite qui les traversent sous forme de filonnets. Épigénies en quartz et albite, en mica blanc (*damourite*). Le microcline apparaît dans de nombreuses roches sous forme de cristaux de première consolidation à macles extrêmement fines et passant en apparence à l'orthose.

II. Macles et groupements identiques à ceux de l'orthose et en outre macles constantes, simultanées et caractéristiques :

1° Suivant la loi de l'albite, face d'association g^1 (010), axe de rotation perpendiculaire;

2° Suivant la loi de la péricline, face d'association de la zone ph^1 (001) (100) entre h^1 (100) et $a^{1/2}$ ($\bar{2}01$); la trace de cette macle fait dans g^1 (010) un angle de — 80 à 82° avec pg^1 (001) (010),

[1] Des Cloizeaux. *Ann. de chimie et de physique*, V, 133, 1876.

dans le sens de M. Max Schuster. Axe de rotation perpendiculaire à g^1.

Cet ensemble ne se compose donc que de deux corps optiquement différents : le cristal fondamental et son retournement de 180° autour d'un axe perpendiculaire à g^1 (010). Les sections quelconques de microcline en plaque mince présentent [1] toutes en effet les phénomènes d'éclairement commun décrits page 83 et suivantes.

La zone de symétrie de ces macles, perpendiculaires à g^1 (010), montre un réseau de lamelles hémitropes à angle droit, se réduisant à un seul système dans les sections intermédiaires entre h^1 (100) et $a^{1/2}$ ($\bar{2}01$). Les plans de macle sont mal définis, les ombres d'extinctions roulantes. Sur p, extinctions symétriques à 15 ou 16° des lignes de macle. La zone, rapportée à la trace du plan g^1 (010), est négative (—) ; son maximum ne dépasse pas 18°.

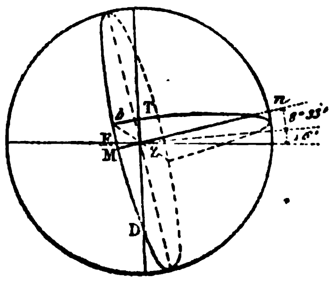


Fig. 81. — Position de indices principaux du microcline.

III. Bissectrice négative n_p, voisine de pg^1 (001) (010) ; le plan des axes est presque perpendiculaire à g^1 (010) ; $\rho > v$.

D'après M. des Cloizeaux, le plan n_p n_m fait un angle de 98° à 99° avec p (001), 78° 36' avec m (110), 162° 19' avec g^1 (010).

On aurait donc, dans le triangle sphérique ZDE :

Z = 90° 16'		MZE = 8° 49'
D = 27° 41'	et	MZ = 15° 17'
E = 81 à 82°		ZT = 5 à 6°

En adoptant la notation de M. Max Schuster, l'extinction sur la face p (001) est de + 15 à 16°, sur la face g^1 (010) de + 5° ; enfin la zone perpendiculaire à g^1 (010) rapportée à la trace g^1 (010) est négative et présente un maximum de 18° pour une section comprise dans l'angle obtus ph^1 (001) (100).

[1] Michel Lévy. *Bull. Soc. Min.*, VI, 143, 1883.

(—) 2 **V** = 83° (Dx).

n_g = 1,529 (Narestö, Norwège) (ML et Lx).
n_m = 1,526 —
n_p = 1,523 —

$n_g - n_p$ = 0,007 (ML).

On a vu (p. 83) que les propriétés optiques de l'orthose paraissent se déduire de celles du microcline, supposé composé d'associations submicroscopiques de lamelles hémitropes suivant les lois de l'albite et de la péricline.

FELDSPATHS ALCALINO-TERREUX (PLAGIOCLASES)

GÉNÉRALITÉS

$$m\,(Na^2 Al^2 Si^6 O^{16}) + n\,(Ca^2 Al^4 Si^4 O^{16})$$

Rapports d'oxygène, de 1 : 3 : 12 à 1 : 3 : 4.

M. Tschermak[1] a démontré que les plagioclases contiennent une proportion de soude et de chaux telle que chacun d'eux peut être considéré comme un mélange défini d'albite et d'anorthite :

$$\mathbf{Ab} = Na^2 O^3,\ Al^2 O^3,\ 6\ Si\ O^2 = Na^2 Al^2 Si^6 O^{16}$$
$$\mathbf{An} = 2\ (Ca\ O,\ Al^2 O^3,\ 2\ Si\ O^2) = Ca^2 Al^4 Si^4 O^{16}$$

Pour établir la correspondance avec les anciens types, on les supposera composés d'un mélange *m* Ab + *n* An, en posant $m + n = 100$.

Le rapport *r* de l'oxygène des bases RO avec celui de la silice est le suivant :

$$r = \frac{m + 2n}{12m + 8n},\ \text{d'où}\ \frac{m}{n} = \frac{8r - 2}{1 - 12r}$$

	r	$\frac{m}{n}$	m	n
Albite	1 : 12	8	100,00	0,00
Oligoclase	1 : 9	$\frac{10}{3}$	76,93	23,07
Andésine	1 : 8	2	66,66	33,33
Labrador	1 : 6	$\frac{2}{3}$	40,00	60,00
Anorthite	1 : 4	0	0,00	100,00

[1] TSCHERMAK. *Sitzungber. K. K. Akad. Wissensch.* Vienne, décembre 1864.

Il est absolument nécessaire, au point de vue pétrographique, de distinguer les séries feldspathiques par ordre de basicité.

M. Tschermak a proposé le groupement suivant :

	DENSITÉS		m	n
Albite	2,62	de $Ab_1\ An_0$	100,00	0,00
		à $Ab_8\ An_1$	88,88	11,11
Oligoclase	2,64	de $Ab_6\ An_1$	85,71	14,28
		à $Ab_2\ An_1$	66,66	33,33
Andésine	2,65	de $Ab_3\ An_2$	60,40	40,00
		à $Ab_4\ An_3$	57,14	42,86
Labrador	2,69	de $Ab_1\ An_1$	50,00	50,00
		à $Ab_1\ An_2$	33,33	66,66
Bytownite	2,71	de $Ab_1\ An_3$	25,00	75,10
		à $Ab_1\ An_6$	14,28	85,71
Anorthite	2,75	de $Ab_1\ An_8$	11,11	88,88
		à $Ab_0\ An_1$	0,00	100,00

Les séries intermédiaires s'appelleraient oligoclase-andésine, etc.

L'anorthite est entièrement, le labrador partiellement attaquable par les acides à chaud. Sauf l'albite, les feldspaths tricliniques cristallisent facilement par fusion ignée[1].

I. *Tricliniques.* Faces habituelles, p (001), g^1 (010), m (1$\bar{1}$0), t (110), a^1 ($\bar{1}$01), $a^{1/2}$ ($\bar{2}$01). Clivages faciles p, g^1. Les grands cristaux sont allongés suivant pg^1 ou h^1g^1. Les microlithes sont allongés suivant pg^1 ou aplatis suivant g^1 (010). Dans ce dernier cas, la face g^1 (010) présente parfois comme profil les faces p (001), a^1 ($\bar{1}$01) ou p (001), $a^{1/2}$ ($\bar{2}$01) seulement, et simule des losanges de 81° ou de 51°.

Gisements les plus variés dans les roches éruptives et métamorphiques. Pseudomorphoses en damourite et en calcite.

Angle obtus pg^1 (001) (010), à droite en haut :

Albite	93° 36
Oligoclase	93° 50
Andésine.	93° (?)
Labrador	93° 20
Anorthite	94° 10′

[1] Fouqué et Michel Lévy. *Synthèse des minéraux et des roches.* Paris, Masson, 1882.

II. Groupements et macles analogues à ceux de l'orthose et, en outre, macles caractéristiques :

1° De l'albite, face d'association g^1 (010) avec axe de rotation perpendiculaire, produisant des lamelles hémitropes nombreuses plus fines et plus serrées dans les feldspaths acides que dans les basiques.

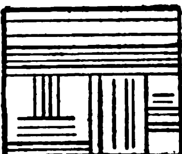


Fig. 82. — Macles de l'albite et de la péricline dans une section de la zone ph^1.

2° De la péricline ; face d'association de la zone ph^1 (001) (100) avec axe de rotation sensiblement perpendiculaire à g^1 (010), comme dans la macle de l'albite. La face d'association forme sur g^1 (010) une trace faisant avec pg^1 (001) (010) les angles suivants :

Albite	+ 13 à 21°
Oligoclase	+ 4°
Andésine	0°
Labrador	— 2 à 9°
Anorthite	— 18°

On sait que, dans le microcline, cet angle est de — 80 à 82° ; il est donc très caractéristique de ce dernier feldspath.

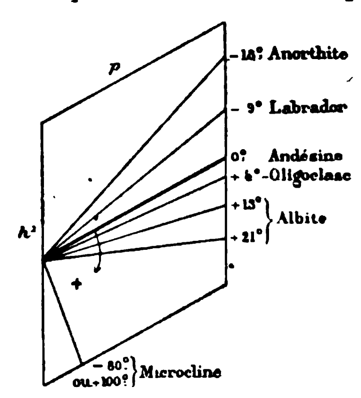


Fig. 83. — Traces sur g^1 de la macle de la péricline.

L'éclairement commun (p. 85) s'applique simultanément aux lamelles hémitropes suivant les lois de l'albite et de la péricline et permet de mettre en évidence les autres macles souvent assez complexes.

III. Les indices n_g de tous les plagioclases sont situés au voisinage d'un plan perpendiculaire à l'arête pg^1 (001) (010) ; en lu-

mière convergente, on aperçoit leurs traces dans les lames de clivage g^1 (010).

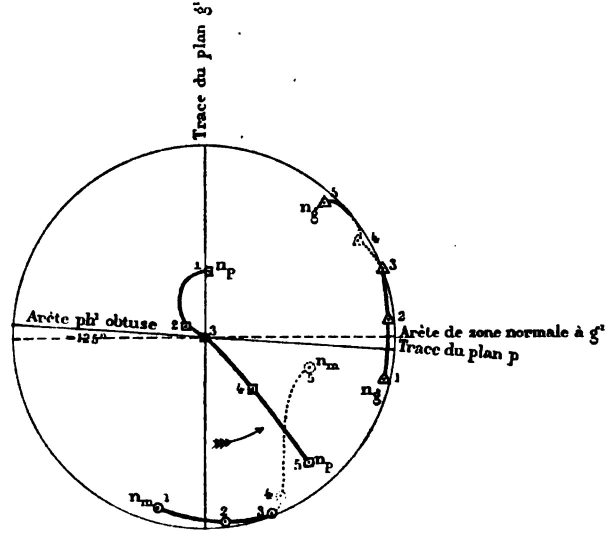


Fig. 84. — Projection des indices principaux des feldspaths tricliniques sur un plan perpendiculaire à pg^1. — 1 Albite. — 2 Oligoclase. — 3 Andésine. — 4 Labrador. — 5 Anorthite.

Les indices n_p se groupent autour de l'arête pg^1 (001) (010), qui

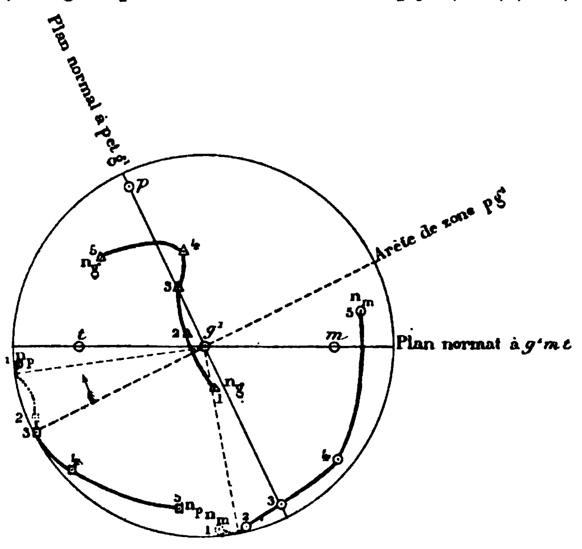


Fig. 85. — Projection sur g^1.

est parallèle à l'allongement des microlithes feldspathiques.

Les données optiques, recueillies par M. Des Cloizeaux, permettent de dresser les épures approximatives (fig. 84 et 85), sur lesquelles on peut suivre les positions successives des indices principaux n_p n_m n_g, de l'albite à l'anorthite.

Les extinctions sur les faces de clivages faciles *p* (001) et g^1 (010), rapportées à l'arête pg^1 (001) (010) et à l'extinction négative (—) des sections, ont été étudiées par M. Des Cloizeaux[1] et par M. Max Schuster[2]. En adoptant pour le sens des extinctions les signes qui résultent du diagramme ci-contre, M. Max Schuster a tracé les courbes théoriques des extinctions sur *p* (001) et g^1 (010).

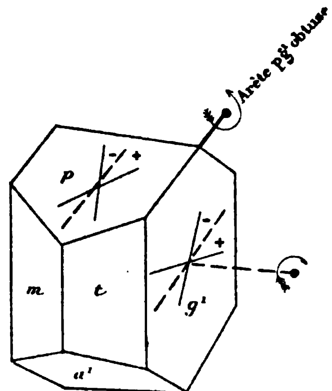


Fig. 86. — Signes des directions comptées dans les faces *p* et g^1.

On voit que les feldspaths entre l'albite et l'andésine présentent des extinctions positives et variant de + 5° à 0° pour les sections *p* (001), de + 20° à 0° pour les sections g^1 (010).

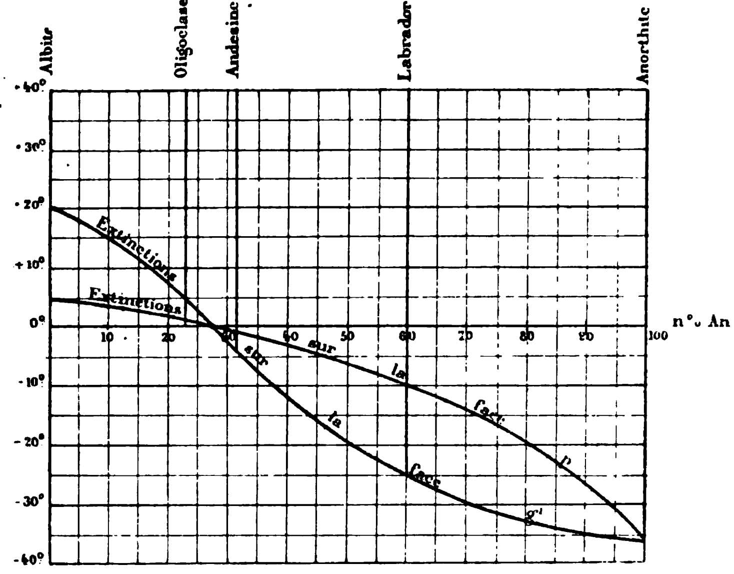


Fig. 87. — Extinctions sur *p* et g^1. (D'après Max Schuster.)

[1] Des Cloizeaux. *Ann. Ch. et Phys.*, 1875. — *C. R.*, LXXX, 364, 1875. — *C. R.*, LXXXII, 1017, 1876. — *Bull. Soc. Min.*, VI, 89, 1883. — Id., VII, 249, 1884.
[2] Max Schuster. *Tsch. min. petr. Mittheil.*, III, 117, 1880. — V, 189, 1882.

Il est remarquable que l'andésine à 30 p. 100 de An ait ses extinctions simultanément parallèles à l'arête pg^1 (001) (010) dans p (001) et dans g^1 (010).

L'étude générale des courbes d'extinctions afférentes aux sections en zone (p. 14) permet d'interpréter cette propriété, vérifiée par l'étude de nombreux microlithes, et d'en déduire que, pour cette andésine, l'arête pg^1 coïncide avec l'axe n_p. Les épures (fig. 84 et 85) tiennent compte de ce fait et rectifient l'erreur commise par M. Max Schuster et reproduite par M. Rosenbusch.

Puis de l'andésine à l'anorthite, les extinctions, toutes deux négatives, varient de 0° à 37°; les deux courbes constituent une boucle fermée, la concavité de la courbe afférente à g^1 (010) étant tournée vers l'axe des x, tandis que la courbe en p (001) lui présente sa convexité.

M. Mallard[1] a démontré que ces courbes peuvent se déduire, par le calcul, de la théorie de M. Tschermak. Malgré certaines incertitudes pratiques, la méthode de détermination des plagioclases par leurs extinctions sur les lamelles de clivages s'applique fructueusement, toutes les fois qu'on peut se procurer et orienter ces lamelles. Elle est en défaut pour les cristaux microscopiques.

Deux zones de sections importantes[2] et généralement faciles à reconnaître permettent alors d'aborder, même en plaque mince, la détermination des plagioclases :

1° *Zone d'allongement* pg^1 (001) (010). Les traces des clivages faciles et des macles suivant les lois de Carlsbad, de l'albite et de Manebach sont parallèles à l'allongement. Les courbes d'extinctions, rapportées à l'arête de zone et à la direction négative des diverses sections, doivent toutes se couper en un point unique, si la loi de M. Tschermak se vérifie. Ce point est nécessairement situé sur l'axe des x, car ce dernier constitue la courbe afférente à l'andésine (30 p. 100 An).

Le diagramme ci-joint montre que le point d'intersection commune, coïncidant avec une extinction parallèle à pg^1 (001 010), correspond au plan de la zone compris dans l'angle obtus pg^1 (001) (010), à environ 40° de p (001).

[1] MALLARD. *Bull. Soc. Min.*, IV, 103, 1881.
[2] Michel LÉVY. *Ann. des mines*, XII, 451, 1877.



Les maximum correspondent à des plans voisins de g^1 de l'al-

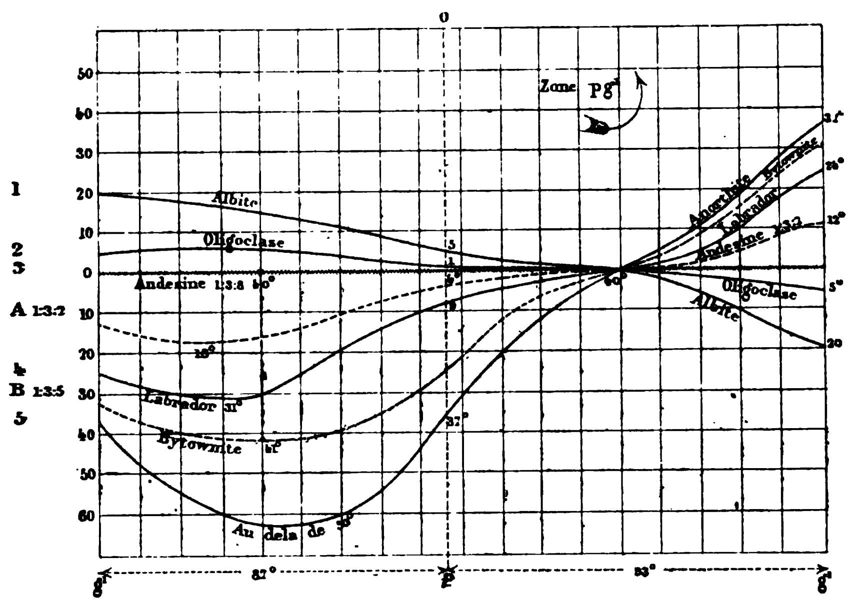


FIG. 88. — Zone $p\,g^1$, à partir de g^1 en parcourant d'abord l'angle $p\ g^1$ aigu dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

bite à l'andésine et, de l'andésine à l'anorthite, s'espacent dans l'angle aigu pg^1 (001) (010).

Albite	(zone négative —)	1 : 3 : 12	maximum + 20°
Oligoclase	—	1 : 3 : 9	+ 5°
Andésine	—	0,30 *An*	0°
Andésine	—	1 : 3 : 8	— 3°
Andésine	—	1 : 3 : 7	— 18°
Labrador	—	1 : 3 : 6	— 31°
Bytownite	—	1 : 3 : 5	— 45°
Anorthite	(zone + et —)	1 : 3 : 4	— 50°

On voit que, lorsque le signe du maximum est inconnu, il peut y avoir indécision entre l'albite et certaines variétés intermédiaires, entre l'andésine et le labrador. Le maximum est au contraire caractéristique pour l'oligoclase, le labrador et l'anorthite.

2° *Zone perpendiculaire à* g^1 (010). Elle est caractérisée par l'extinction symétrique, de part et d'autre de la ligne de macle, des lamelles hémitropes suivant les lois de l'albite et de la péricline, et aussi par la pseudo-symétrie des contours extérieurs des sec-

tions, enfin par leur allongement apparent lorsque les cristaux sont aplatis suivant g^1 (010). Les deux clivages p (001) et g^1 (010) sont presque à angle droit dans cette zone.

Les courbes d'extinctions se coupent toutes en un point voisin

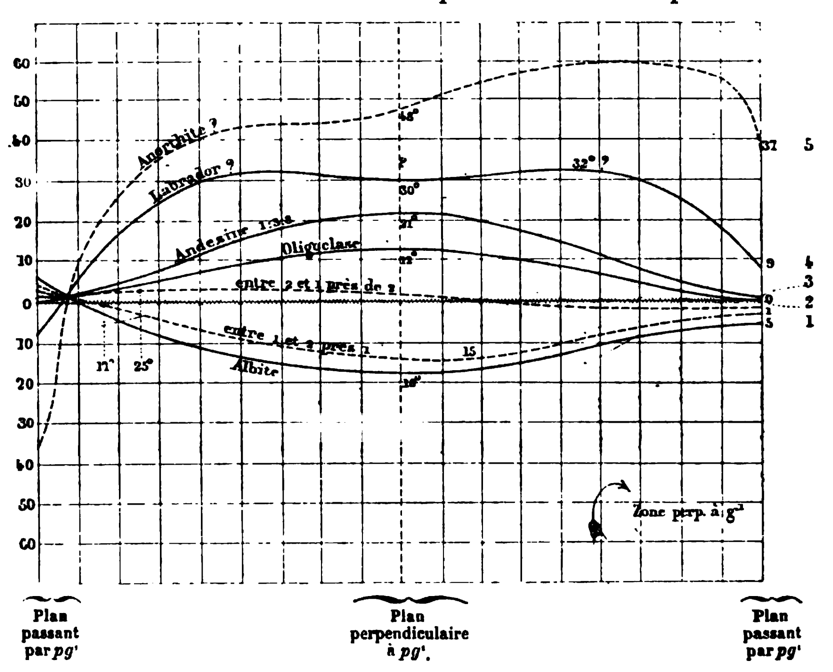


FIG. 89. — Zone perpendiculaire à g^1, rapportée à la trace g^1, à partir du plan passant par pg^1, dans le sens des aiguilles d'une montre.

de l'axe des x, pour un plan de section situé près de p (001) dans l'angle obtus ph^1 (001) (100). Les maximum, rapportés aux directions négatives des sections et à la trace de g^1 (010), sont les suivants :

Albite	(zone négative —)	1 : 3 : 12	— 18°
Oligoclase	—	1 : 3 : 10	+ 4°
Oligoclase	—	1 : 3 : 9	+ 12°
Andésine	—	1 : 3 : 8	+ 21°
Labrador	—	1 : 3 : 6	+ 32°
Anorthite	(zone + et —)	1 : 3 : 4	au delà de + 50°

Ici encore l'indécision existe entre l'albite et l'andésine ; l'oligoclase, le labrador et l'anorthite ont des maximum caractéristiques.

Les grands cristaux de plagioclases sont très fréquemment zonés; tantôt cette structure provient d'un accroissement successif du cristal, plus basique au centre qu'à la périphérie. Tantôt elle procède de macles submicroscopiques suivant les lois de l'albite et de la péricline, et alors les mélanges mécaniques ainsi produits obéissent aux lois de l'éclairement commun (p. 85), qui démontrent que deux individus optiquement différents sont seuls en présence.

La réfringence et la biréfringence augmentent avec la teneur en chaux.

$$N \begin{cases} \text{Albite} = 1{,}529 \\ \text{Anorthite} = 1{,}566 \end{cases}$$

$$n_g - n_p \begin{cases} \text{Albite} = 0{,}007 \\ \text{Anorthite} = 0{,}013 \end{cases}$$

La dispersion et l'angle apparent des axes optiques dans le verre *autour de n_g* sont, d'après M. Max Schuster, les suivants :

Albite	$\rho < v$	$2E_v = 80°$
Oligoclase	$\rho < v$	$2E_v = 100°$
Labrador	$\rho > v$	$2E_v = 82°$
Anorthite	$\rho > v$	$2E_v = 110°$

ALBITE

1 : 3 : 12 — Ab = $Na^2 Al^2 Si^6 O^{16}$.

Inattaquable aux acides, fusible au rouge blanc; ne cristallise pas par voie purement ignée. Densité 2,61 à 2,64.

I. *Triclinique.* $a = 0{,}633$, $b = 1$, $c = 0{,}558$ — pg^1 (001) (010) $= 93° 36'$. Zone d'allongement pg^1 (001) (010) négative (—); extinction maximum à + 20°. Zone perpendiculaire à g^1 et rapportée à la trace de ce plan négative (—); extinction maximum à — 18°.

Extinctions sur p (001) à + 5°, sur g^1 (010) à + 20° de l'arête pg^1 (001) (010).

II. Macles de l'albite fines et espacées; les variétés dépourvues de lamelles hémitropes ne sont pas rares.

Macles de la péricline faisant sur g^1 (010) avec pg^1 (001) (010) un angle de + 13° à 21°.

Zone de symétrie de ces macles donnant un maximum de 36° entre les deux séries de lamelles hémitropes.

III. Le plan n_m n_p écorne l'angle solide aigu supérieur, postérieur, de gauche. Dans le triangle ZPG (fig. 90), on a (Dx) :

$$Z = 86°24 \qquad ZG = 16°40$$
$$G = 15°22 \qquad ZP = 4°50$$
$$P = 79°$$

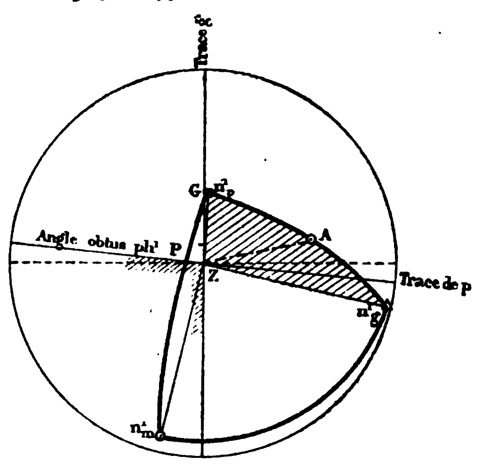


FIG. 90. — Projection des indices principaux de l'albite sur un plan perpendiculaire à $p\,g^1$.

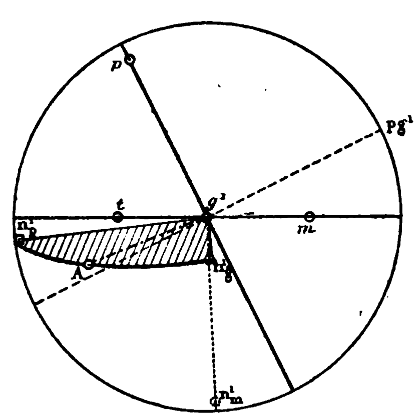




FIG. 91. — Projection sur g^1.

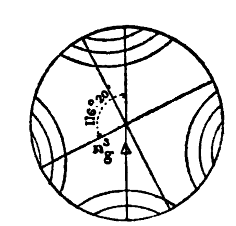


FIG. 92. — Image en lumière convergente dans une section g^1.

Le plan n_g n_p a sa trace sur g^1 (001) à + 20° de pg^1 (001) (010); n_p coïncide sensiblement avec le plan g^1 (010).

Bissectrice positive n_g; dispersion horizontale faible ; $\rho < v$, (+) 2 V très grand; N[1] = 1,529.

$n_g = 1,540$	(Narestö, Norwège) (ML et Lx).	
$n_m = 1,534$	—	
$n_p = 1,532$	—	
		$n_g - n_p = 0,008$

OLIGOCLASE

1 : 3 : 9 — 10 Ab + 3 An.

Inattaquable aux acides; fusible au rouge vif; cristallise assez facilement par voie ignée. Densité 2,64 à 2,66.

I. *Triclinique*. pg^1 (001) (010) = 93° 50'. Zone d'allongement pg^1 (001) (010) négative (—); extinction maximum à + 5°.

Zone perpendiculaire à g^1 (010) et rapportée à la trace de ce plan, négative (—); extinction maximum à + 12°.

Extinctions sur p (001) à + 1°, sur g^1 (010) à + 5° de l'arête pg^1 (001) (010).

II. Macles suivant la loi de l'albite fines et régulières; manquent parfois dans les microlithes très allongés et filiformes des porphyrites micacées.

La macle de la péricline fréquente, mais interrompue, a une trace sur g^1 (010) à + 4° de l'arête pg^1 (001).

La zone de symétrie de ces macles donne un maximum de 24° entre les deux séries de lamelles hémitropes.

III. Dans le triangle ZPG (fig. 93), on a :

Z = 93° 50'	Trace n_g n_p sur g^1 à + 2° à 6° de pg^1
P = 76° à 82	— n_m n_p sur p à + 1° à 2° de pg^1
G petit (?)	

[1] N est ici calculé au moyen de la loi de Gladstone.

Bissectrice négative n_p (—) ; 2 V très grand. Autour de la nor-

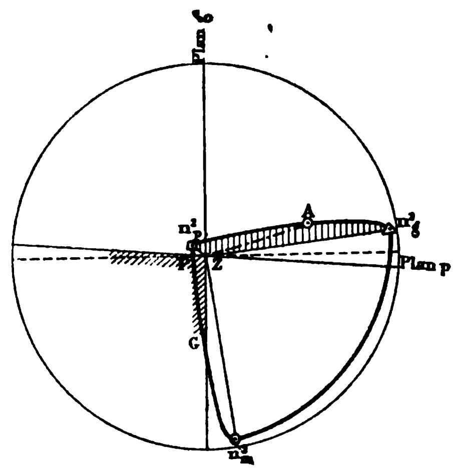


Fig. 93. — Projection des indices principaux de l'oligoclase sur un plan perpendiculaire à p g^1.

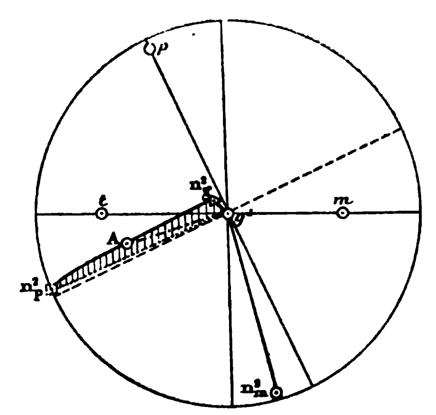


Fig. 94. — Projection sur g^1.

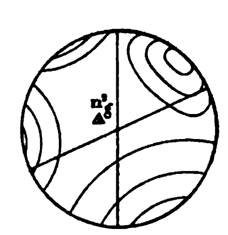


Fig. 95. — Image en lumière convergente dans une section g^1.

male optique n_g, dispersion tournante et parfois inclinée, et ρ υ

$$n_g = 1{,}542 \quad \text{(Bamle, ML et Lx).}$$
$$n_m = 1{,}538$$
$$n_p = 1{,}534$$
$$n_g - n_p = 0{,}008.$$

ANDÉSINE

1 : 3 : 8 : — 2 Ab + 1 An.

Inattaquable aux acides; fusible au rouge vif; cristallise assez facilement par voie ignée. Densité 2,67.

I. *Triclinique*. pg^1 (001) (010) = 93° 50'. Zone d'allongement pg^1 (001) (010) négative (—); extinctions constantes à 0°. Zone perpendiculaire à g^1 (010) et rapportée à la trace de ce plan, négative (—); extinction maximum à + 21°. Extinctions sur p (001) à 0°, sur g^1 (010) à 0° de l'arête pg^1 (001) (010).

II. La face d'association de la macle suivant la péricline coïn-

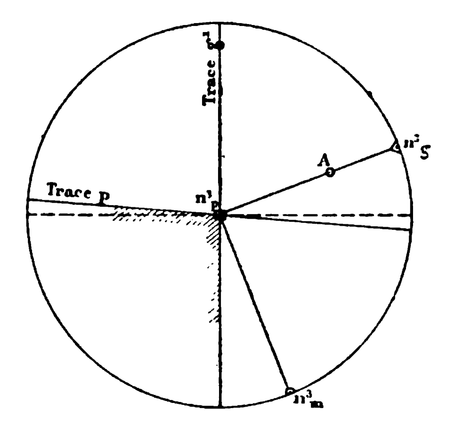


FIG. 96. — Projection des indices principaux de l'andésine sur un plan perpendiculaire à pg^1.

cide avec p (001); sa trace sur g^1 (001) sera donc à 0° de l'arête pg^1 (001) (010).

La zone de symétrie des macles de l'albite et de la péricline donne un maximum de 42° entre les deux séries de lamelles hémitropes.

III. La bissectrice négative n_p (—) coïncide sensiblement avec l'arête pg^1 (001) (010); n_g fait un angle de 21° avec la perpendiculaire à g^1 (010).

L'angle (—) 2 V est grand ; autour de n_g, normale optique,

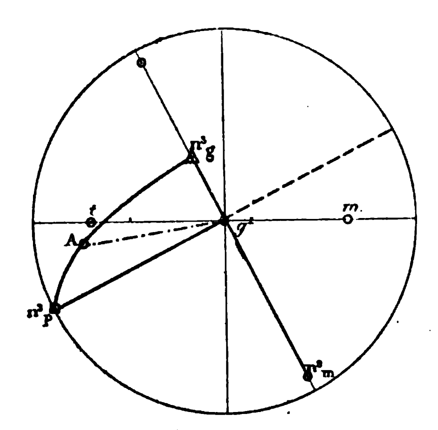


Fig. 97. — Projection sur g^1.

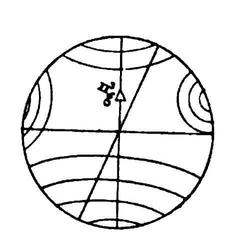


Fig. 98. — Image en lumière convergente dans une section g^1.

dispersion inclinée avec $\rho < v$.

$\mathbf{n_g} = 1,556$ (ML et Lx, Roche-Sauve près Privas).
$\mathbf{n_m} = 1,553$
$\mathbf{n_p} = 1,549$

$\mathbf{n_g} - \mathbf{n_p} = 0,007$ (à 0,002 près).

LABRADOR

1 : 3 : 6 — 2 Ab + 3 An.

Partiellement attaquable à chaud par les acides, après traitement très prolongé. Fusible au rouge ; cristallise facilement par voie ignée. Densité 2,68 à 2,71.

I. *Triclinique*. pg^1 (001) (010) = 93° 20'. Zone d'allongement pg^1 (001) (010) négative (—) ; extinction maximum à 31°. Zone perpendiculaire à g^1 (010), rapportée à la trace de ce plan, négative (—) ; extinction maximum à environ 32°.

Extinctions sur p (001) à — 9° ; sur g^1 (010) à — 24° de l'arête pg^1 (001) (010).

II. Les macles de l'albite et de la péricline sont inégalement développées, très abondantes et plus belles que dans les variétés plus acides.

La face d'association de la macle de la péricline forme une trace à — 2° à 9° de pg^1 (001) (010) dans g^1 (010).

La macle de Carlsbad est des plus fréquentes, notamment dans les microlithes. Quand ils sont aplatis suivant g^1 (010) et couchés

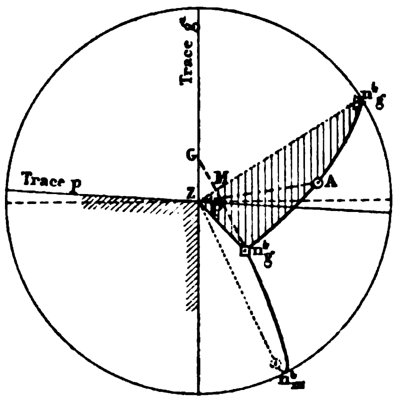


Fig. 99. — Projection des indices principaux du labrador sur un plan perpendiculaire à pg^1.

sur cette face, les deux individus cristallins se compensent à peu près complètement dans les parties superposées.

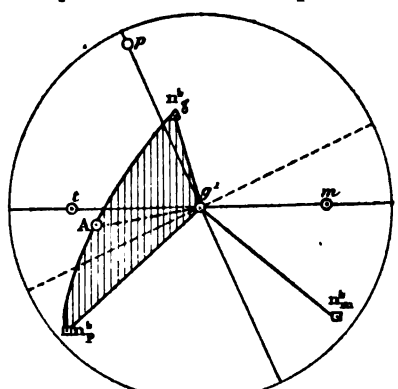


Fig. 100. — Projection sur g^1.

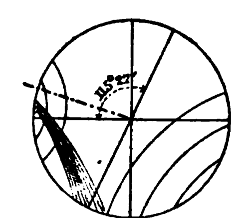


Fig. 101. — Image en lumière convergente dans une section g^1.

La zone de symétrie des macles de l'albite et de la péricline donne un maximum de 64°.

III. Dans le triangle ZPG (fig. 99), on a, d'après M. des Cloizeaux :

$Z = 93° 20'$ $ZG = 12°$
$P = 56°$ $ZP = 7°$
$G = 30° 40'$ $ZM = 6°$

La bissectrice positive (+) n_g est à peu près perpendiculaire à pg^1 (001) (010) ; autour de n_g dispersion tournante, associée à une faible dispersion inclinée ; $\rho > v$ contrairement aux feldspaths précédents.

L'angle (+) 2 V est très grand.

$n_g = 1{,}562$ (ML et Lx, côte du Labrador).
$n_m = 1{,}557$
$n_p = 1{,}554$
$n_g - n_p = 0{,}008$ (à 0,002 près).

ANORTHITE

1 : 3 : 4 — $An = Ca^2 Al^4 Si^4 O^{16}$.

Attaquable assez rapidement aux acides ; fusible difficilement au blanc ardent ; cristallise à cette température. Densité 2,73 à 2,76.

I. *Triclinique.* $a = 0{,}625$, $b = 1$, $c = 0{,}550$. pg^1 (001) (010) = 94° 10'. Zones d'allongement pg^1 (001) (010) et d'aplatissement suivant g^1 (010) de signes variables (±) ; le maximum des extinctions dépasse 45°. Extinctions sur p (001) et sur g^1 (010) à — 37° de l'arête pg^1 (001) (010).

II. Macles de l'albite larges et régulières ; la macle de la péricline se cantonne souvent dans quelques-unes des précédentes lamelles hémitropes ; sa trace sur g^1 (010) est à —18° de pg^1 (001) (010). La zone de symétrie de ces deux macles donne un maximum dépassant 90°. Il est fréquent de voir tout le cristal s'éteindre simultanément à 45°, mais les extinctions d'une des séries sont à rapporter à la direction positive, et celles de l'autre série à la direction négative.

III. Le triangle ZPZ (fig. 102) présente les données suivantes :

Z = 85° 50′	ZG = 39° 8′
P = 55° 7′	MZ = 30° 9′
G = 52° 45′	MZP = 44° 26′

La bissectrice est négative (n_p) ; l'angle (—) 2 V très grand. Autour de n_g, normale optique, on constate une dispersion incli-

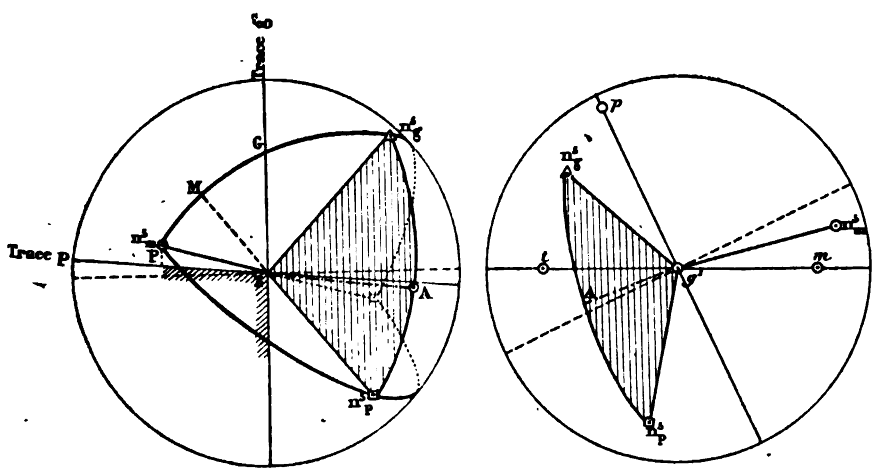


FIG. 102. — Projection des indices principaux de l'anorthite sur un plan perpendiculaire à pg^1.

FIG. 103. — Projection sur g^1.

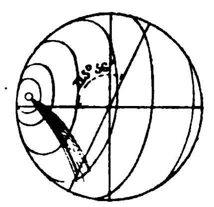


FIG. 104. — Image en lumière convergente d'une section g^1.

née assez forte pour masquer la dispersion tournante; $\rho > \nu$.

$$N = 1{,}566.$$
$$n_g - n_p = 0{,}013$$

FER OLIGISTE

Fe^2O^3.

Densité 4,9 à 5,3. Assez facilement soluble dans les acides.

I. Rhomboédrique; $a = 1$, $c = 1,359$; $pp = 86°\ 10'$. Cassures microscopiques nettes suivant p $(10\bar{1}1)$. Aplatissement fréquent suivant a^1 (0001) ; l'hématite se présente alors en lamelles hexagonales, rouges ou orangées par transparence et dénuées de polychroïsme.

Par réflexion, éclat métallique gris rougeâtre.

II. Les cassures p correspondent à la trace de fines macles ; a^1 de l'hématite s'associe à p des micas, g^1 des hypersthènes et des bastites.

III. Un axe optique positif (?).

$$N = 1,90$$

FLUORINE

$Ca\,Fl^2$.

Dans les roches éruptives (granulite, syénite éléolitique), on trouve des plages de fluorine souvent irrégulières, avec pigment violet inégalement disséminé. Densité 3,18 à 3,20.

I. Cubique. p (001), a^1 (111), b^1 (110). Clivage parfait suivant a^1 (111).

II. Anomalies optiques assez fréquentes, rarement visibles en lames minces. Groupements par pénétration : associations de lamelles peu biréfringentes.

M. Mallard rapporte ce groupement au type de l'analcime : six pyramides quadratiques s'appuient sur les faces du cube; cha-

cune d'elles est composée de quatre pyramides orthorhombiques suivant les diagonales de la face p (001). Il y aurait pénétration intime de tous ces individus cristallins (en tout 24 dont 12 distincts au point de vue optique) et association lamellaire.

III. La biréfringence est très faible ; les divers cristaux orthorhombiques composants ont tous pour bissectrice les axes quaternaires et pour plan des axes optiques les plans de symétrie perpendiculaires aux axes quaternaires.

Les sections suivant p (001) présentent un quadrillage disposé suivant les quatre secteurs, découpés par les diagonales, et parallèle aux côtés. L'extinction des lamelles du quadrillage a lieu

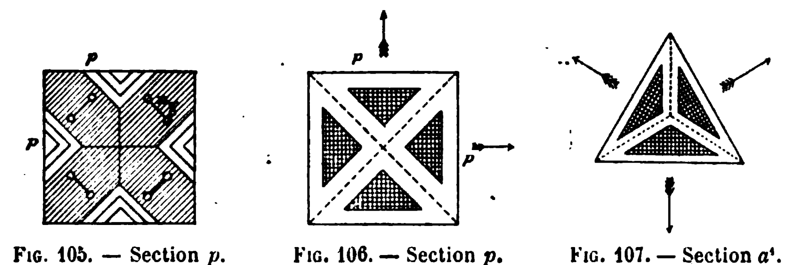


Fig. 105. — Section p. Fig. 106. — Section p. Fig. 107. — Section a^1.

parallèlement aux côtés p (001), mais celles des bandes qui dessinent les diagonales auraient lieu suivant ces diagonales.

Les sections a^1 (111) se divisent en 3 secteurs triangulaires s'éteignant perpendiculairement aux côtés qui leur servent de base.

M. Hussak [1] ajoute aux notions précédentes les suivantes : lorsqu'on éteint les lamelles hémitropes signalées par M. Mallard (en disposant les sections p (001) parallèlement à leurs côtés entre les nicols croisés), il apparaît d'autres lamelles plus larges, parallèles aux diagonales et s'éteignant seulement dans cette direction.

Ces lamelles sont à deux axes rapprochés, le plan des axes optiques est transversal à la longueur des lamelles, la bissectrice perpendiculaire à p (001) est positive, n_g.

$$n = 1,433 \text{ à } 1,434.$$

---

[1] Hussak. *Zeitsch. f. Krystall.*, XII, 552, 1887.

GADOLINITE

R^3SiO^5 à R^2SiO^4.

R = Y, Ce, La, Fe, Gl.

Densité 4,35. Soluble en faisant gelée dans l'acide chlorhydrique.

Gisement, granulites et pegmatites.

I. Monoclinique, pseudo-rhombique, isomorphe de la datholite et de la homilite : formes voisines de celles du péridot. $a = 0,625$, $b = 1$, $c = 0,659$, ph^1 (001) (100) = 90° 32'; mm (110) ($1\bar{1}0$) sur h^1 (100) = 116° ; e^2e^2 (012) ($0\bar{1}2$) sur p (001) = 113° 12'; formes dominantes : m (110), e^2 (012), p (001) sans allongement. Pas de clivages.

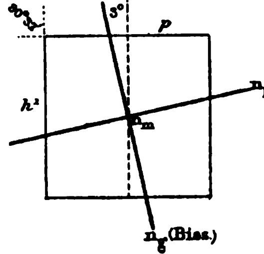


Fig. 108. — Section g^1.

Couleur vert bouteille (parfois brunâtre), sans polychroïsme sensible en lames minces. Cristaux ou masses compactes.

III. Plan des axes optiques parallèle à g^1 (010). Bissectrice positive n_g faisant un angle d'environ 3° avec l'arête h^1g^1 (100) (010) dans l'angle aigu ph^1 (001) (100). Forte dispersion $\rho < \nu$.

$+ 2V =$ grand.

n_g ?

n_m ?

$n_p > 1,78$

Relief considérable. Biréfringence variable dans une même plage ; constamment nulle dans la gadolinite d'un grand nombre de localités.

GEHLÉNITE

$Ca^3 Al^2 Si^2 O^{10}$.

Ca O (dominant), Mg O, Fe O : une partie de $Al^2 O^3$ est souvent remplacée par $Fe^2 O^3$. Densité 2,95 à 3,01. Facilement attaquable par les acides en faisant gelée.

I. Quadratique. $a = 1$, $c = 0,400$. Clivages, imparfait suivant p (001); traces suivant m (110). La gehlénite se trouve dans les cipolins en prismes raccourcis. Ses sections en lames minces sont ordinairement carrées et parfois faiblement allongées suivant mm (110) ($1\bar{1}0$) : le signe de cette zone d'allongement est négatif (—). Incolore.

III. Double réfraction à un axe négatif (—) n_p.

$$N = 1,636$$
$$n_g^{\bullet} = 1,663 \text{ (Monzoni, Ml. et Lx).}$$
$$n_p^{\bullet} = 1,658$$
$$n_g - n_p = 0,005 \text{ par différence.}$$

GŒTHITE

$Fe^2 O^3, H^2 O$.

Densité 4. Soluble dans les acides.

I. Orthorhombique. $a = 0,918$, $b = 1$, $c = 0,606$. Isomorphe avec le diaspore. mm (110) ($1\bar{1}0$) sur h^1 (100) = 95°.

Clivages faciles suivant g^1 (010). Aplatissement suivant g^1. Allongement aiguillé suivant la zone positive h^1g^1 (100) (010). Extinctions à 0°. Couleur brun rougeâtre, en lames minces.

II. Groupement suivant une des faces du prisme.

III. Plan des axes optiques ordinairement parallèle à h^1 (100). Bissectrice positive n_g perpendiculaire à p.

D'après M. Ed. Palla[1], n_g serait perpendiculaire à g^1 (010), mais les aiguilles de gœthite sont toujours positives, ce qui est contraire à cette hypothèse.

Dispersion énorme rappelant celle de la brookite. Dans la lumière rouge, la gœthite semble être presque à un axe.

$$(+)\ 2\ \mathbf{V} = 26^\circ \text{ (bleu et vert).}$$
$$\mathbf{N} = 1{,}80.$$

GROUPE DES GRENATS

$M^3R^2Si^3O^{12}$.

Les minéraux de ce groupe ne diffèrent entre eux que par la nature de MO et de R^2O^2; leur densité varie de 3,4 à 4,3. Les principales variétés peuvent se résumer dans le tableau suivant :

	MO	R^2O^3	Densité.
Grossulaire	CaO	Al^2O^3	3,4 à 3,6
Almandin	FeO	Al^2O^3	3,5 à 4,3
Pyrope	FeO, MgO, CaO	Al^2O^3 Cr^2O^3	3,7 à 3,8
Mélanite	CaO	Fe^2O^3	3,6 à 4,3
Spessartine	MnO	Al^2O^3	3,7 à 4,27
Ouwarowite	CaO	Cr^2O^3	3,4 à 3,51

Gisements, granulites, roches métamorphiques, micaschistes.

I. Cubique, formes dominantes b^1 (110), a^2 (211).

Sections quadratiques, hexagonales, octogonales; cassures irrégulières, pas de clivage; zones d'accroissement fréquentes.

La couleur des grenats est très variable : en lames minces les teintes sont presque toujours faibles : incolore ou jaune (*grossu-*

[1] Palla. *Zeitsch. f. Krystall.*, XI, 23, 1886.

laire, *spessartine*), rouge plus ou moins foncé (*almandin*, *pyrope*, *spessartine*), vert (*ouwarowite*).

II. Anomalies optiques fréquentes dans quelques types seulement : grossulaire, quelques mélanites (topazolite) et ouwarowite. Il existe, d'après M. Klein [1], quatre types principaux de groupements :

1° Octaèdres composés de huit rhomboèdres hémimorphes, basés suivant les faces de l'octaèdre et ayant leurs sommets à son centre. D'après M. Mallard, le réseau possède alors un axe de symétrie réellement ternaire coïncidant avec l'un des axes ternaires du cube.

2° Rhombododécaèdres composés de même de douze pyramides orthorhombiques hémimorphes (*ouwarowite*). Il existe alors un axe binaire réel coïncidant avec un des axes binaires du cube.

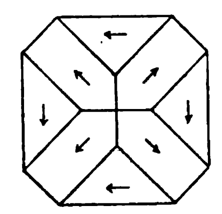


Fig. 109. — Grenat du 2° type. Section *p*.

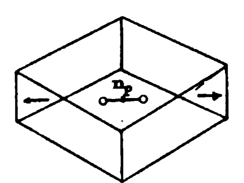


Fig. 110. — Section *b*[1].

3° Trapézoèdres composés de vingt-quatre pyramides hémimorphes rhomboédriques ou orthorhombiques.

4° Hexoctaèdres (*topazolite*) composés de quarante-huit pyramides asymétriques. Dans ce cas le réseau est anorthique à axe pseudo-binaire, coïncidant avec un des axes binaires du cube.

M. Klein conclut à des phénomènes de compressions : d'après M. Mallard, il y a là des groupements pseudo-cubiques.

III. Dans les divers modes de groupements précédemment énumérés on peut constater les propriétés optiques suivantes :

1° Chaque rhomboèdre élémentaire a son axe optique négatif perpendiculaire à la face de l'octaèdre qui lui sert de base.

[1] Mallard. *Anomalies optiques*, 1876.
Klein. *Göttingen.*, 457, 1882. — *N. Jahrb.*, I, 87, 1883.
Schrauf. *Zeitsch. f. Krystall.*, VI, 321, 1882.

2° Chaque pyramide orthorhombique a une bissectrice aiguë négative perpendiculaire à sa base, c'est-à-dire parallèle aux axes binaires du cube. Le plan des axes optiques est parallèle à la bissectrice de l'angle aigu du losange b^1 (110), c'est-à-dire à deux axes quaternaires du cube.

3° Les pyramides ont leur axe optique unique ou leur bissectrice aiguë négatifs et perpendiculaires à leur base a^2 (211) (Klein) ; le plan des axes optiques est parallèle à la diagonale symétrique de cette face.

4° La bissectrice aiguë négative est oblique à chaque face de l'hexoctaèdre, le plan des axes optiques est variable.

Grossulaire	**n** = 1,7468 à 1,7714 (N*a*)	Tchihatchef.
	= 1,7368 à 1,7645 (L*i*)	—
	= 1,7593 à 1,7796 (T*h*)	—
Almandin	**n** = 1,7670 (N*a*)	Reusch
	= 1,772 (R)	Des Cloizeaux.
Pyrope	**n** = 1,8141 (N*a*)	Rosenbusch.
	= 1,7776 (rouge)	—
	= 1,8288 (bleu)	—

La biréfringence, généralement très faible, peut atteindre dans quelques cas 0,005.

GYPSE

$CaSO^4 + 2 H^2O$.

Densité 2,2 à 2,4. Soluble dans les acides et dans l'eau. Gisement : roches sédimentaires.

I. Monoclinique. $a = 0,745$, $b = 1$, $c = 0,412$; *mm* (110) (1$\bar{1}$0) = 111°30', *ph*^{1} (001) (100) = 113°51'.

Clivage très facile suivant g^1 (010), facile suivant p (001) (clivage fibreux) et h^1 (100) (clivage vitreux).

L'aplatissement g^1 (010) détermine une zone perpendiculaire tantôt positive, tantôt négative, avec extinction à 0°.

II. Macles suivant h^1 (100), et plus rares suivant $a^{1/2}$ ($20\bar{1}$).

III. Plan des axes optiques parallèle à g^1. La bissectrice est positive n_g, et fait un angle de 52° 32' avec l'arête h^1g^1 (100) (010) dans l'angle obtus ph^1 (001) (100).

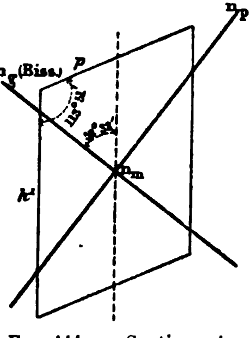


Fig. 111. — Section g^1.

L'angle des axes optiques varie avec la température. 2 E étant de 95° environ à 20° C., si l'on élève la température, on voit cet angle diminuer. A 115° C., il est égal à 0°; puis au-dessus de cette température les axes optiques s'ouvrent dans un plan perpendiculaire au plan initial.

M. Dufet[1] a étudié les variations des indices par la chaleur; il a trouvé de 20° à 50° C. les nombres suivants pour + 1° C. :

$\mathbf{n}_g$ varie de — 0,000025
$\mathbf{n}_m$ — 0,000044
$\mathbf{n}_p$ — 0,000014

(+) 2 **V** = 58° (à 15° Centigrades).

$\mathbf{n}_g = 1{,}529$ Angström (D).
$\mathbf{n}_m = 1{,}522$
$\mathbf{n}_p = 1{,}520$

$\mathbf{n}_g - \mathbf{n}_p = 0{,}009$

GROUPE DE LA HAÜYNE

HAÜYNE

2 (Na², Ca) Al²Si² O⁸ + (Na², Ca) SO⁴.

Densité 2,40 à 2,50. Soluble dans les acides en faisant gelée.

[1] Dufet. *Bull. Soc. Min.*, 1881, 113 et 191.

Gisement dans les roches volcaniques (phonolites, andésites, basaltes) et les produits de projections volcaniques.

I. Cubique. a^1 (111), b^1 (110). Clivages difficiles suivant b^1 (110). Sections carrées, hexagonales, etc. On observe souvent une couronne extérieure de décomposition opaque.

Nombreuses inclusions (fer titané, oligiste, pores à gaz, inclusions vitreuses, etc.) souvent rangées régulièrement suivant les axes ternaires : elles forment dans les sections p (100) et b^1 (110) deux systèmes de stries à angle droit.

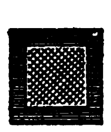


Fig. 112. — Section p.

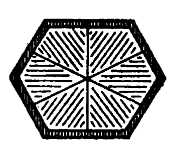


Fig. 113. — Section a^1.

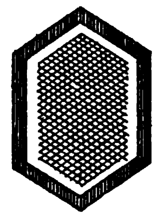


Fig. 114. — Section b^1.

Dans les sections a^1 (111), six secteurs se correspondant deux à deux.

Couleur bleue, parfois incolore.

NOSÉANE

$$2\,Na^2\,Al^2\,Si^2\,O^8 + Na^2\,SO^4.$$

Densité 2,28 à 2,40. Même gisement que la haüyne.

La noséane est incolore ou jaune; elle possède toutes les propriétés de la haüyne, dont elle ne peut être distinguée que par les réactions microchimiques (absence de Ca O).

$$N = 1,46$$

OUTREMER (lapis lazuli)

Densité 2,38 à 2,45. Soluble dans les acides en faisant gelée. Pas d'analyse définitive.

Gisement, calcaire cristallin; accompagne la phlogopite, le pyroxène (baïkalite) au lac Baïkal.

I. Pseudo-cubique. b^1 (110). Clivage à peine marqué suivant b^1 (110).

Couleur bleu azur intense : pas de polychroïsme sensible.

II. Entre les nicols croisés, les plages d'outremer (lac Baïkal) donnent nettement des phénomènes de polarisation que la rareté des cristaux nets ne nous a pas permis d'étudier complètement.

SODALITE

$2 Na^2 Al^2 Si^2 O^8 + Na Cl$.

Densité 2,20 à 2,34. Attaquable par les acides en faisant gelée. Gisement dans les syénites éléolitiques, les produits de projection volcanique.

I. Cubique. p (100), b^1 (110) avec allongement fréquent suivant un des axes binaires et formes pseudo-hexagonales. Clivages b^1 peu marqués.

La sodalite se présente le plus souvent en plages dénuées de contours réguliers. Incolore, bleuâtre ou verdâtre en lame mince.

II. Macles a^2 (211) rares, enchevêtrées.

n = 1,4827 Feussner.
1,4858 Tchihatchef.

HELVINE

$(Mn, Gl, Fe)^7 Si^3 O^{12} S$.

Densité 3,1 à 3,3. Soluble dans l'acide chlorhydrique en faisant gelée et en dégageant de l'hydrogène sulfuré. Son gisement est la syénite éléolitique et quelques roches basiques de la série des gneiss.

I. Cubique avec hémiédrie tétraédrique.



Dans les lames minces, la helvine se présente en sections triangulaires jaunâtres à cassures irrégulières, possédant un aspect rugueux très accentué et un fort relief dû à son indice de réfraction élevé.

$n = 1,739$ (Langesundfjord, ML et Lx).

HERDÉRITE

$(Ca, Gl)^2 Fl Ph O^4$ (?).

Densité 3. Gisement dans les granulites (très rare).

I. Orthorhombique. $a = 0,6783$, $b = 1$, $c = 1,5971$, mm (110) $(1\bar{1}0) = 155° 53'$. Clivage difficile suivant m (110). Allongement peu marqué suivant la zone pg^1 (001) (010) négative ; grains incolores en lames minces.

II. Plan des axes optiques parallèle à g^1 (010) [1]. Bissectrice négative n_p normale à h^1 (100). $\rho > v$.

La herdérite pourrait en lames minces être confondue avec la topaze : elle s'en distingue par sa plus forte biréfringence.

$(-) 2V = 66° 59'$. Dx.
$n_g = 1,621$ J. Dx.
$n_m = 1,612$
$n_p = 1,592$
$n_g - n_p = 0,029$.

HOMILITE

$Fe Ca^2 B^2 Si^2 O^{10}$.

Densité 3,28 à 3,34. Facilement attaquable par les acides en fai-

[1] DES CLOIZEAUX. *Bull. Soc. Min.*, IX, 141, 1886.

sant gelée. Donne les réactions de l'acide borique. Gisement, syénite éléolitique.

I. Monoclinique [1]. Géométriquement isomorphe de la datholite et de la gadolinite.

Pas de clivage. Les cristaux sont parfois légèrement allongés suivant la zone ph^1 (001) (100).

De même que pour la gadolinite, les cristaux de homilite sont fréquemment formés de plages monoréfringentes englobant des plages biréfringentes. Les premières sont jaunes, les secondes verdâtres en lames minces : il n'y a pas de polychroïsme sensible.

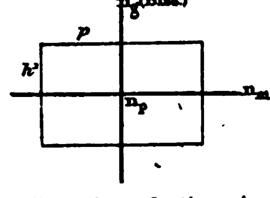


Fig. 115. — Section g^1.

II. Plan des axes optiques normal à g^1 (010).

La bissectrice est positive n_g et sensiblement parallèle à l'arête h^1g^1 (100) (010).

Dispersion horizontale très forte, avec $\rho > v$ net.

$$(+)\ 2V = 63^o.$$

$$\frac{n_g + n_m + n_p}{3} = 1{,}678 \text{ (Langesundfjord, ML et Lx).}$$

$$n_g - n_p = 0{,}021 \text{ (ML et Lx).}$$

GROUPE DES HUMITES

$Mg^6Si^2(O, Fl^2)^9$.

Le groupe des humites est voisin, par sa composition et ses propriétés optiques, du péridot. M. Mallard les considère comme un mélange de péridot, de périclase et de sellaïte. M. Des Cloizeaux [2] y distingue trois familles optiquement différentes : *humite clinohumite*, *chondrodite*. On peut réunir les deux dernières. Gise-

[1] Des Cloizeaux. *Ann. phys. et chimie*, 5e série, t. XII (1877).

[2] Des Cloizeaux. *Cristallom. Associat.*, juin 1867.
Sjögren. *Zeistch. f. Krystall.*, 1883, 113 et 358.
Michel Lévy et Lacroix. *Bull. Soc. Min.*, IX, 81, 1886.

ment dans les cipolins et les calcaires métamorphiques. Densité 3,12 à 3,23. Facilement attaquables par les acides.

HUMITE

I. Orthorhombique avec hémiédrie. $a = 0,463$, $b = 1$, $c = 0,582$. $mm (110) (1\bar{1}0) = 130° 19'$. Pour comparer ces paramètres à ceux de l'olivine, il faut faire $a = c$, $c = a$.

Grains ovoïdes allongés suivant *mm*. Incolores ou jaune d'or en plaque mince. Clivage *p* (001), cassures g^1 (010), parfois plus marqués que dans le péridot.

II. Macles parfois multiples suivant une face de la zone ph^1 (001) (100); la normale optique n_p est commune à tous les individus maclés, qui s'éteignent constamment à 0° dans la zone perpendiculaire à g^1 (010) et sont négatifs suivant la trace d'assemblage de la macle.

III. Plan des axes parallèle à *p* (001).

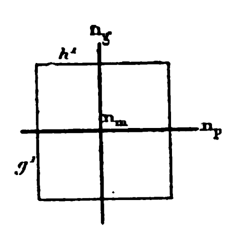


Fig. 116. — Section *p*.

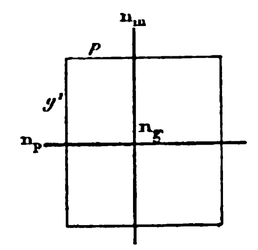


Fig. 117. — Section h^1

La bissectrice positive n_g est perpendiculaire à h^1. La réfringence, plus faible que celle du péridot, donne cependant encore naissance à un relief accentué. La biréfringence est considérable. Les variétés jaunes sont polychroïques dans les teintes jaune d'or de la staurotide, mais en sens opposé.

(+) 2 **V** voisin de 90°

$\left.\begin{array}{l}\mathbf{n_g}\\ \mathbf{n_m}\end{array}\right\}$ jaune brun très pâle.

$\mathbf{n_p}$ jaune d'or foncé.

$\mathbf{n_g} - \mathbf{n_p} = 0,032$ à $0,038$ (ML et Lx).

CLINOHUMITE ET CHONDRODITE

I. Mêmes propriétés cristallographiques que pour la humite : prisme *mm* (110) ($1\bar{1}0$) de 50 à 52°. Symétrie apparente voisine de la symétrie rhombique. La position du plan des axes décèle la symétrie monoclinique.

Il faut remarquer que, eu égard aux notations adoptées, g^1 (010) de la humite correspond à h^1 (100) des clinohumites.

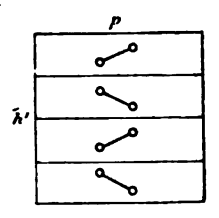


Fig. 118. — Chondrodite maclée. Sections g^1.

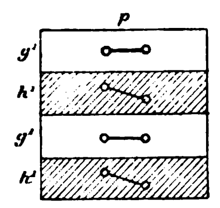


Fig. 119. — Humite et clinohumite maclées. Sections h^1 de la humite, g^1 de la clinohumite.

II. Macles suivant *p* (001), souvent aussi multiples que dans les feldspaths.

Parfois les clinohumites se maclent avec la humite de façon

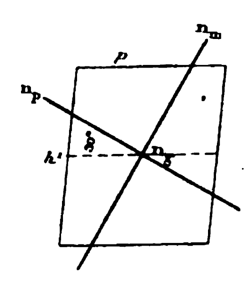


Fig. 120. — Chondrodite. Section g^1.

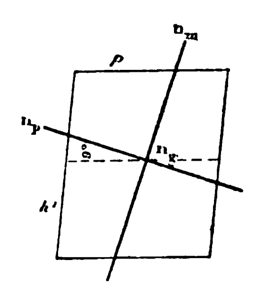


Fig. 121. — Clinohumite. Section g^1.

que la bissectrice positive n_g soit commune à tous les individus associés.

III. Le plan des axes est perpendiculaire à g^1 (010), incliné d'avant en arrière; il fait un angle variable avec *p* (100), de 30° (chondrodite) à 9° (clinohumite).

La section g^1 contient n_p et n_m ; la bissectrice positive n_g est perpendiculaire à g^1. Réfringence, biréfringence et polychroïsme analogues à ceux de la humite.

Chondrodite	$n_g = 1,639$ (Kafveltorp) (ML et Lx).
	$n_m = 1,619$ —
	$n_p = 1,607$ —
	$n_g - n_p = 0,032$.

HYDRARGILLITE

$H^6 Al^2 O^6$.

Densité 2,43. Soluble dans l'acide sulfurique concentré. Infusible. Gisement, schistes métamorphiques.

I. Monoclinique[1] (pseudo-hexagonal). *mm* (110) (1$\bar{1}$0) = 60° environ, *ph*[1] (001) (110) = 92° 13'.

Clivage très facile suivant *p* (001).

Se trouve en petites lamelles hexagonales ou en masses fibreuses mamelonnées rappelant la wavellite (*gibbsite*).

Allongement des fibres parallèle à la zone pg^1 (001) (010), tantôt positive, tantôt négative (trace du clivage facile). Extinctions dans cette zone, rapportées à la direction positive, variant de 0° à 51° (Oural), de 0° à 65° (Brésil).

Incolore en lames minces.

II. Macle suivant *p* (001), avec axe de rotation perpendiculaire : zone de symétrie rapportée à la trace *p* (001) et perpendiculaire à *p*, négative et présentant des extinctions maximum de 25 à 39°. Les fibres des sphérolithes sont à la fois parallèles au clivage facile et à la macle, multiple à la façon de celle de l'albite.

Macle h^1 (Dx) (Oural).

III. Plan des axes perpendiculaire à h^1 (010), à la température ordinaire[2]; n_p coïncide avec l'ortho-diagonale ph^1 (001) (100). La

[1] KOKSCHAROFF. *Materialen. z. minéral. Russlands.*, t. IV, p. 398.
[2] DES CLOIZEAUX. *Troisième mémoire optique*, 1868, p. 138 et 205.

bissectrice positive n_g fait dans g^1 (010) un angle d'environ 70° avec l'arête pg^1 (001) (010) ; $\rho > v$ avec dispersion inclinée.

Variation des indices avec la chaleur; n_g reste fixe. A partir

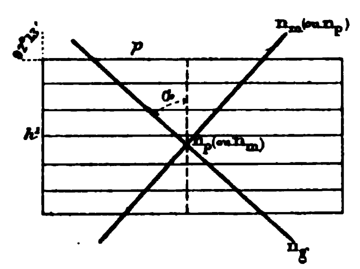


Fig. 122. — Section g^1.

de 56° centigrades le plan des axes devient parallèle à g^1 et la dispersion est $\rho < v$ (Dx).

A la température ordinaire n_g fait avec h^1 un angle α (fig. 122) de 41° (Oural, Dx), à 27° (Brésil, ML et Lx).

$$(+)\ 2\,\mathbf{V} = \text{variable } 0° \text{ à } 40°.$$
$$\mathbf{N} = 1{,}59$$
$$\mathbf{n_g} - \mathbf{n_p} = 0{,}019 \text{ (ML et Lx).}$$

IDOCRASE

$H^2\,Ca^8\,Al^4\,Si^7\,O^{29}$.

Densité 3,5 à 3,8. Calcaires, schistes métamorphiques, etc.

I. Quadratique, $a = 1$, $c = 3{,}798$, m (110), h^1 (100), p (001), $b^{1/2}$ (111) ; $b^{1/2}\ b^{1/2}$ (111) ($1\bar{1}1$) sur p (001) $= 105°\ 33'$.

Clivages m (110), h^1 (100), p (001), très difficiles.

L'idocrase se présente soit en cristaux à arêtes souvent arrondies, soit en agrégats prismés à contours irréguliers.

Incolore, verdâtre, brunâtre; zones d'accroissement fréquentes.

II. Anomalies optiques (Mallard). Les sections p (001) (*Ala*) montrent quatre secteurs s'éteignant parallèlement aux côtés et se touchant suivant des zones obscures de mélanges. En lumière convergente, les plans des axes sont perpendiculaires aux côtés. Ces anomalies rappellent celles de l'apophyllite; elles ne sont pas visibles en lames minces.

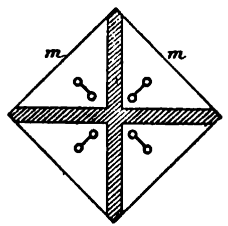


Fig. 123. — Section *p*.

III. Double réfraction à un axe négatif (—) n_p^e.

$$n_g^o = \begin{cases} 1{,}719 \text{ jaune (Dx).} \\ 1{,}722 \end{cases}$$

$$n^e = \begin{cases} 1{,}718 \\ 1{,}720 \end{cases}$$

$$n_g - n_p = 0{,}0015 \text{ (moyenne).}$$

ILMÉNITE (FER TITANÉ)

$(Ti, Fe)^2 O^3$.

Densité 4,5 à 5. Infusible; difficilement attaquable par l'acide chlorhydrique concentré; dans la solution, réactions caractéristiques du titane par l'eau oxygénée.

Gisement, diabases, gabbros, péridotites, porphyrites, basaltes, etc.

I. Rhomboédrique : isomorphe avec le fer oligiste et le corindon. Sections hexagonales, souvent en trémies et en grilles hexagonales. Epigénies fréquentes en sphène et en anatase. Eclat métallique brunâtre par réflexion. Opaque en plaque mince.

ILVAITE

$H^2 R^6 Fe^2 Si^4 O^{18}$.

6 R = 4 Fe + 2 Ca. Densité, 3,9 à 4,1. Soluble dans l'acide chlorhydrique en faisant gelée. Gisement dans des filons avec pyroxènes, etc.

I. Orthorhombique. $a = 0{,}667$, $b = 1$, $c = 0{,}443$, *mm* (110) ($1\bar{1}0$), = 112° 38'.

Clivages suivant *p* (001) et g^1 (010), difficiles suivant *m* (110) et a^1 (101).

Allongement très net suivant la zone positive h^1g^1 (100) (010); pointements a^1a^1 (101) ($\bar{1}01$) = 112°49' sur *p*.

L'ilvaïte est d'un noir foncé, souvent opaque en lames minces et non polychroïque.

III. D'après M. Lorenzen[1], le plan des axes optiques serait parallèle à h^1 (100); la bissectrice est positive et perpendiculaire à *p* (001); 2 V, très grand (ilvaïte du Groënland). — Dans la plupart des cas, il est impossible de constater aucune trace de polarisation, à cause de l'opacité, même en plaque très mince.

N = 1,76

LAZULITE (KLAPROTHITE)

(Mg, Fe, Ca) $Al^2 H^2 Ph^2 O^{10}$.

Monoclinique, $a = 0{,}975$, $b = 1$, $c = 1{,}694$, *mm* (110) ($1\bar{1}0$) = 91°30', ph^1 (001) (100) = 91° 58', o^1a^1 (101) ($\bar{1}01$) = 120° 39'.

Clivage *mm* (110) ($1\bar{1}0$) très difficile.

Inclusions liquides assez fréquentes. Polychroïsme net dans les teintes bleues.

[1] LORENZEN. *Zeitsch. f. Krystall.*, IX, 243, 1884.

Gisement, roches métamorphiques.

II. Macle simple suivant h^1 (100); rare suivant $d^{3/4}$ (332).

III. Plan des axes optiques parallèle à g^1 (010). La bissectrice est négative n_p et fait un angle de 70° avec une normale à o^1 (101).

Dispersion inclinée faible avec $\rho < v$.

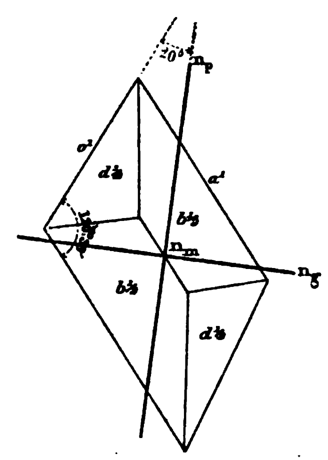


FIG. 124. — Section g^1.

Le polychroïsme est très intense dans les variétés colorées. Au point de vue de l'absorption $n_g = n_m$, aussi les sections normales à n_p ne sont-elles pas polychroïques.

$$(-)\ 2\,\mathbf{V} = 69°.$$

$\mathbf{n_g} = 1{,}639$	(ML et Lx, Brésil)	bleu azur.
$\mathbf{n_m} = 1{,}632$	—	bleu azur.
$\mathbf{n_p} = 1{,}603$	—	incolore.

$\mathbf{n_g} - \mathbf{n_p} = 0{,}036$ (Brésil) (ML et Lx).

LEUCITE

$KAlSi^2O^6$.

Densité 2,45 à 2,50. Difficilement fusible; attaquable par les acides. Gisement exclusif dans les roches volcaniques tertiaires et actuelles, leucitophyres, leucotéphrites, leucitites.

I. Pseudo-cubique, devenant rigoureusement cubique à partir de 500° centigrades (Klein, Penfield, Rosenbusch).

Trapézoèdres a^2 (211), parfois p (100) et b^1 (110). Pas de clivages; déformations et stries extérieures. Inclusions variées disposées en couronnes périphériques et provenant de la dévitrification d'inclusions primitivement vitreuses (augite, etc.). Sections octogonales par le centre; carrées à l'extrémité d'un axe quaternaire, les deux autres axes quaternaires se projetant alors suivant les diagonales du carré; triangulaires à l'extrémité d'un axe ternaire.

II. Groupements complexes par pénétration : M. vom Rath[1] suppose le réseau primitif quadratique; M. Mallard[2], monoclinique

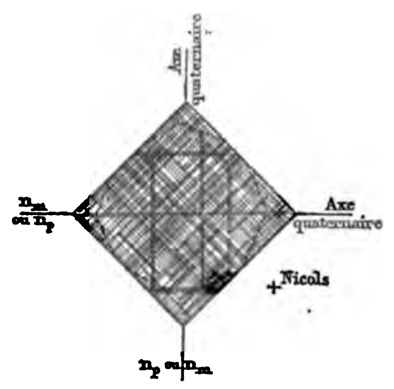


Fig. 125. — Leucite du premier mode. Section p [p].

ou triclinique; M. Klein[3] a montré que l'hypothèse d'un cristal fondamental orthorhombique explique bien les macles apparentes des diverses sections; nous adopterons son hypothèse; les notations rhombiques seront mises entre [ ].

1° Dans un premier mode de groupement, il existe un seul cristal fondamental et les trois sections p (100) du cube [p (001), h^1 (100), g^1 (010) du prisme orthorhombique] se comportent de façons différentes; [p] est beaucoup moins biréfringent que [h^1 et g^1].

Les macles se font suivant les faces b^1 (110) du rhombododé-

[1] Von Rath. *Sitzungb. der niederrhein. Gesell.* Bonn, 1883.

[2] Mallard. *Anomalies optiques.*

[3] Klein. *Neues Jahrb. Beil*, Bd. III, 152, 1885.

caèdre, correspondant dans la réalité aux faces [m (110)], [$e^{1/2}$(021)], [$a^{1/2}$ (201)] du cristal fondamental.

Les sections parallèles à [p] donnent les mêmes apparences à quelque distance du centre du cristal qu'on les pratique. Elles présentent un premier quadrillage serré de macles [m] à séparation

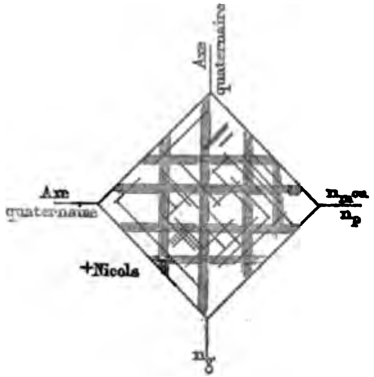


Fig. 126. — Leucite du premier mode. Sections p [h^1 ou g^1].

nette, à 45° de la projection des axes quaternaires du cube. Il existe, parallèlement à ces axes, un second quadrillage [$e^{1/2}$, $a^{1/2}$] à séparations flou et beaucoup moins serré que le premier. Le maximum d'obscurité (extinction incomplète) se produit quand les axes

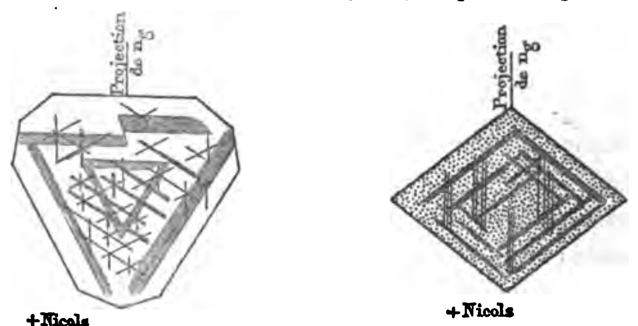


Fig. 127. — Leucite du premier mode. Section a^1.

Fig. 128. — Leucite du premier mode. Section b^1.

quaternaires du cube coïncident avec les sections principales des nicols. En lumière convergente, les lamelles un peu larges du premier système montrent deux axes très rapprochés autour d'une bissectrice généralement positive n_g, perpendiculaire à [p] ; le plan des axes serait parallèle à [h^1] ?

Dans les deux autres sections p [h^1, g^1], la biréfringence est beaucoup plus considérable, les apparences de macles analogues, mais les réseaux beaucoup moins serrés ; si l'on a eu soin de noter la direction perpendiculaire à la première section [p], on constate facilement le caractère positif de cette direction.

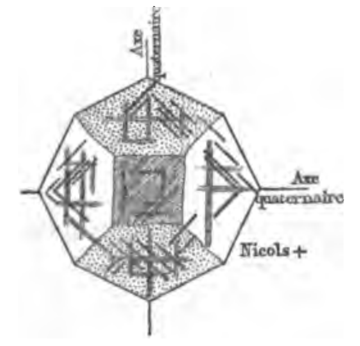


Fig. 129. — Leucite du deuxième mode. Sections p.

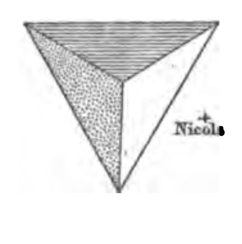
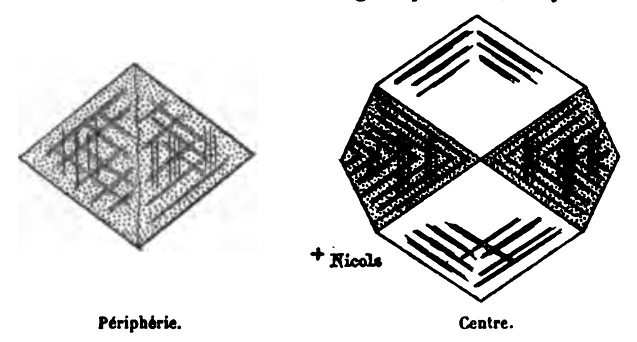


Fig. 130. — Leucite du deuxième mode. Sections a^1.

Nous donnons, sans autre explication, les apparences présentées, dans cette première variété de leucite, par des sections parallèles à l'octaèdre a^1 (111) du cube et au rhombododécaèdre b^1 (110).

2° Dans un deuxième mode de groupement, il y a trois cris-



Périphérie. Centre.

Fig. 131. — Leucite du deuxième mode. Sections b^1.

taux orthorhombiques se pénétrant et ayant chacun pour base [p (001)] une face p (100) du cube. Les macles b^1 (110) se reproduisent dans chacun de ces cristaux comme précédemment. Les coupes suivant les trois faces p du cube se ressemblent et ne varient qu'avec la distance au centre. Elles sont composées (fig. 129) d'un secteur central identique à la figure 125, entouré de 4 secteurs

périphériques se comportant chacun comme les sections de la figure 126.

Nous donnons, d'après M. Klein, les apparences dans les sections a^1 et b^1 d'un pareil cristal.

III. Les anomalies optiques sont encore fort nettes dans les plaques minces des roches contenant la leucite.

(+) 2 **V** très petit.

$$\mathbf{n_g} = 1{,}509 \text{ (Dx).}$$
$$\mathbf{n_p} = 1{,}508$$
$$\mathbf{n_g} - \mathbf{n_p} = 0{,}001$$

Les cristaux naissants de leucite se développent suivant les axes quaternaires du cube ; ils appartiennent souvent à trois cristaux fondamentaux différents (deuxième type de M. Klein). Leur allongement paraît négatif [1] ; les macles b^1 y apparaissent rapidement.

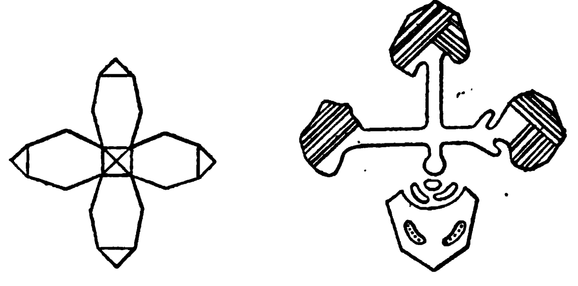


Fig. 132. — Cristaux artificiels naissants de leucite (F. Fouqué et Michel Lévy).

M. Tschermak a d'ailleurs constaté le caractère également négatif de la leucite d'Aqua acetosa (Campanie).

LÅVÉNITE [2]

Silicozirconate de soude et de chaux : soluble dans l'acide sulfurique. Densité 3,51. Gisement, syénite éléolitique.

[1] Fouqué et Michel Lévy. *Bull. Soc. Min.*, III, 121, 1880.
[2] Brögger. *Geol. For. Forhand.*, VII, 598.

I. Monoclinique. $a = 1{,}084$, $b = 1$, $c = 0{,}813$; ph^1 (001) (100) $= 71° \; 24' \; 30''$.

Formes habituelles. m (110), h^3 (210), h^1 (100), g^1 (010), $d^{\frac{1}{2}}$ (111). Clivage suivant h^1 (100). Allongement suivant la zone négative h^1g^1 (100) (010). Extinction maximum de 20° dans g^1 (010).

Couleur jaune plus ou moins foncée, polychroïsme net.

II. Macle suivant h^1 (100), avec associations fréquentes de nombreuses lamelles hémitropes.

Dans la zone de symétrie l'extinction atteint entre les deux séries de lamelles hémitropes un maximum de 40°.

III. Plan des axes optiques dans g^1 (010). La bissectrice est négative n_p et fait avec h^1 (100) un angle de 20° dans l'angle aigu ph^1 (001) (100).

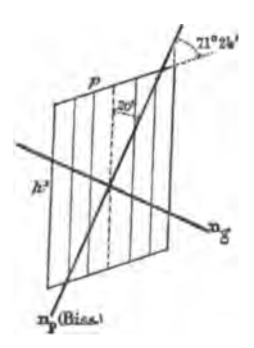


Fig. 133. — Section g^1

Le polychroïsme, intense dans la låvénite du Langesundfjörd décrite par M. Brögger, est plus faible, mais toujours sensible dans les échantillons du Brésil, des Açores, des Pyrénées, etc. Relief très intense.

	Norwège	Brésil, Açores, Pyrénées.
$n_g = ?$	rouge brun foncé	jaune clair
$n_m = ?$	jaune verdâtre	incolore
$n_p = ?$	jaune clair	incolore

$n_g - n_p = 0{,}03$ environ (ML et Lx).

LEUCOPHANE

$R^6 Si^5 O^{15} Fl^2$.

$6 R = Na^2 + 5$ (Gl, Ca). Densité 2,97. Incolore en lames minces. Se présente en cristaux ou en masses irrégulières d'une certaine taille dans la syénite éléolitique de Norwège.

I. Orthorhombique ou monoclinique, pseudo-quadratique.

$a = 1,061$, $b = 1$, $c = 1,054$, mm (110) (1$\bar{1}$0) = 91 à 92°, ph^1 (001) (100) = 90°. Incolore en lame mince.

Clivage parfait suivant p (001).

II. Macles (rares) analogues à celles de l'harmotome (Groth).

III. Plan des axes optiques parallèle à h^1 (100).

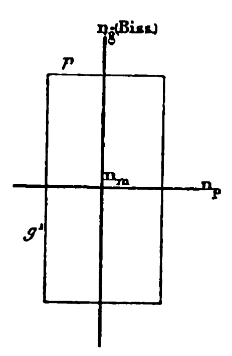


Fig. 134. — Section h^1.

Bissectrice négative n_p perpendiculaire à p (001). Dispersion faible $\rho > v$ [1]. Relief assez marqué.

$$(-)\ 2\ \mathbf{V} = 44°$$

$$\mathbf{n_g} = 1,594 \text{ (ML et Lx).}$$

$$\mathbf{n_m} = 1,591$$

$$\mathbf{n_p} = 1,570$$

$$\mathbf{n_g} - \mathbf{n_p} = 0,028 \text{ (directement, ML et Lx).}$$

$$= 0,024 \text{ (par différence).}$$

MÉLINOPHANE

Même composition que le leucophane. Densité 3. Gisement, syénite éléolitique.

I. Quadratique. Clivage très facile suivant p (001). Lames aplaties suivant p (001). Les sections perpendiculaires à l'aplatissement simulent un allongement parallèle à la trace du clivage facile, qui est positive.

Incolore en lames minces.

[1] E. Bertrand. *Bull. Soc. Min.*, V, 141, 1882.

II. Quelques indices de groupements suivant p (001).
III. Double réfraction négative à un axe (—) n_p°.

$$n_g^\circ = 1{,}611 \text{ (Dx)}$$
$$n_p^\circ = 1{,}592$$
$$n_g - n_p = 0{,}029$$

Vraisemblablement identique au leucophane.

MÉLILITE (HUMBOLDTILITE)

$(Ca, Mg, Na^2)^{12} (Al, Fe)^4 Si^9 O^{36}$.

Densité 2,90 à 2,95. Soluble en faisant gelée dans l'acide chlorhydrique.

Gisement, basaltes spéciaux, néphélinites, leucitites, etc.; association presque constante à la pérowskite et à l'olivine.

I. Quadratique. $a = 1$, $c = 0{,}455$, $pb^{1/2}$ (001) (111) = 147° 15'; sections rectangulaires, carrées ou octogonales m (110), h^1 (100), h^2 (310), p (001). Incolore en lame mince.

Aplatissement suivant p (001), simulant un allongement suivant une zone positive. Clivage suivant p (001).

Dans les sections perpendiculaires à p (001), on observe des

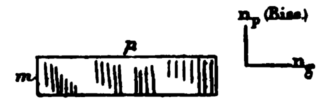


Fig. 135. — Section perpendiculaire à p.

stries normales à la base [1] formant des traînées qui ne traversent pas tout le cristal, et rappellent les stries similaires du disthène. Il existe parfois une structure fibreuse suivant mm (110) ($1\bar{1}0$). La gehlénite présente des phénomènes analogues.

II. Macles en croix suivant a^1 (101).

Anomalies optiques visibles en lames épaisses seulement. Parallèlement à la base, on remarque en lumière polarisée parallèle

[1] Stelzner. *Neues Jarhb. Beil.*, Bd. 361, 1882. — I, 229, 1882.

une division en 8 secteurs, correspondant aux côtes de l'octogone $m\ h^1$ (110) (100) et comprenant chacun de fines lamelles. hémitropes parallèles aux côtés.

Le réseau semble être monoclinique.

Dans les sections de la zone *mm* (110) (1$\bar{1}$0), il existe des lamelles hémitropes de biréfringence variable, accolées suivant le clivage facile et s'éteignant dans sa direction.

III. En lumière convergente, on obtient deux axes très rapprochés autour d'une bissectrice négative (—) n_p.

Biréfringence variable, mais toujours faible.

Réfringence assez énergique produisant un relief notable qui permet facilement de distinguer la mélilite de la néphéline.

$\mathbf{n}_g^\circ$ = 1,6312 R. (Henniger).
1,6339 J.
$\mathbf{n}_p^\circ$ = 1,6262 R.
1,6291 J.
$\mathbf{n}_g - \mathbf{n}_p$ = 0,0048 (Henniger).
0,0058 (ML. Somma) (maximum).

GROUPE DES MICAS

Les minéraux du groupe des micas sont caractérisés par leur forme pseudo-hexagonale, leur clivage basal parfait, permettant d'obtenir des feuillets minces et flexibles.

Monocliniques. $a = 0{,}578$, $b = 1$, $c = 3{,}293$, ph^1 (001) (100) = 89° 56', *mm* (110) (1$\bar{1}$0) = 120°, $pd^{1/2}$ (001) (221) = 94° 24', $pb^{1/2}$ (001) ($\bar{1}$11) = 98° 30'.

Au point de vue de la composition chimique[1], il y a lieu de les diviser en deux groupes : les micas noirs ferro-magnésiens et les micas blancs alumino-potassiques.

[1] TSCHERMAK. *Sitzungb. K.K. Akad. Wis.* Vienne, LXXVI, 1877 et LXXVIII, 1878.
— *Zeitsch. f. Krystall.*, II, 14, 1878. — III, 122, 1879.

MICAS FERRO-MAGNÉSIENS

VARIÉTÉS	FORMULE EMPIRIQUE	M	R	DENSITÉ	GISEMENTS
Biotite.........	$M^{15} R^{6} Si^{12} O^{48}$	$3(K^{2}, H^{2}) + 12(Mg, Fe)$	Al, Fe	2,70 à 3,00	Roches éruptives acides et métamorphiques.
Anomite.......	id.	id.	Al		
Lépidomélane..	id.	$3(H^{2}, K^{2}) + 12(Fe, Mg)$	F,e Al	3,10	Roches éruptives volcaniques.
Phlogopite.....	$M^{16} R^{4} Si^{12} (O Fl^{2})^{44}$	$4 (K^{2}, H^{2}) + 12 Mg$	Al, Fe	2,78 à 2,85	Cipolins et roches métamorphiques.

Ces micas sont attirables à l'électro-aimant, attaquables par l'acide chlorhydrique bouillant qui les transforme en paillettes nacrées de silice ; pour que l'attaque soit complète, il est bon de la faire en vase clos.

I. Aplatissement suivant p (001). Lamelles losangiques p (001), mm (110) ($1\bar{1}0$), ou hexagonales p (001), mm (110) ($1\bar{1}0$), g^1 (010), fréquemment allongées suivant pg^1 (001) (010).

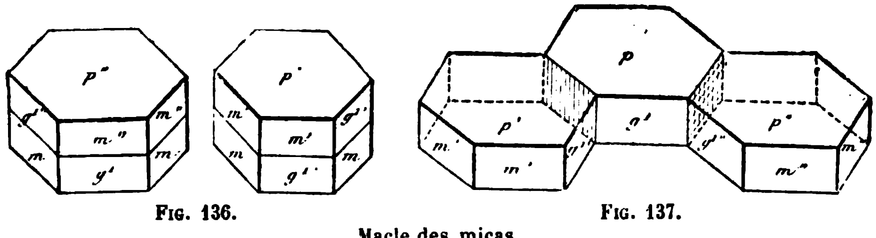


Fig. 136. Fig. 137.

Macle des micas.

La zone perpendiculaire à l'aplatissement est toujours positive, suivant la trace du clivage facile p (001). Extinctions à 0°.

Les micas ferro-magnésiens renferment souvent des inclusions de rutile, de tourmaline en longs microlithes orientés suivant les côtés de l'hexagone de base.

Les inclusions de zircon, d'allanite et plus rarement de sphène et d'apatite déterminent dans les lames de mica noir des auréoles polychroïques.

Incolore ou vert (*méroxène*), jaune plus ou moins foncé *(phlogopite)*, brun foncé *(lépidomélane* et *biotite*).

II. Macle par rotation apparente de 120° autour d'un axe normal à p (001), avec pénétrations irrégulières suivant cette face.

D'après Reusch [1] et Bauer [2], on détermine des étoilements de fissures en frappant d'un coup sec des lamelles minces de mica, au moyen d'une pointe aiguë ou émoussée. Avec une pointe aiguë *(Schlagfigur*, plans de glissement), l'étoilement est sur p parallèle aux traces mmg^1 (110) ($1\bar{1}0$) (010) ; avec une pointe mousse *(Druckfigur*, plans de choc), il est normal à ces traces.

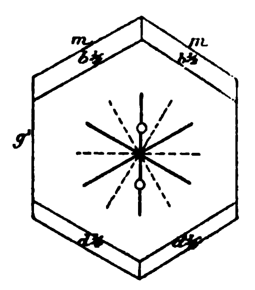


FIG. 138. — Micas noirs.
— Plans de glissement.
- - - Plans de choc.

Groupement avec la muscovite, avec l'amphibole, l'anthophyllite (face p (001) du mica accolée à une face m (110) de l'amphibole).

III. Bissectrice négative n_p sensiblement perpendiculaire à p (001).

Le plan des axes optiques est parallèle à g^1 (010), sauf dans une variété, l'*anomite,* dans laquelle il est perpendiculaire à g^1 (010).

L'angle des axes optiques augmente avec la teneur en fer ; $\rho < v$ (variable dans l'anomite où $\rho \gtrless v$).

Le polychroïsme est extrêmement intense dans les variétés colorées : il s'exagère en auréoles polychroïques autour du zircon, de l'allanite et parfois du sphène et de l'apatite.

$$(-)\ 2\,V = 0° \text{ à } 20°\quad \rho < v$$

$n_g =$ } 1,606 (phlogopite de Templeton, ML et Lx). Brun foncé.
$n_m =$ }
$n_p =$ 1,562 — Brun pâle.

$n_g - n_p$ = 0,044 (phlogopite de Templeton) ML et Lx.
= 0,040 (méroxène du Vésuve) ML.
= 0,060 (biotite de Pranal) ML.

A l'inverse de la tourmaline, le maximum de polychroïsme se produit dans les micas noirs lorsque l'on place l'allongement des

[1] REUSCH. *Pogg. Ann.*, CXXXVI, 130 et 632, 1869.

[2] M. BAUER. *Pogg. Ann.*, CXXXVIII, 337, 1869. — *Zeitsch. der g. Gesellsch.*, XXVIII, 137, 1874.

sections (perpendiculaires à p) parallèlement à la petite section du polariseur.

MICAS ALUMINO-POTASSIQUES, LITHIQUES, SODIQUES OU CALCIQUES

VARIÉTÉS	FORMULE EMPIRIQUE	M	DENSITÉS	GISEMENTS
Muscovite (Margarodite, fuchsite, damourite, séricite.)	$M^6 Al^{12} Si^{12} O^{48}$	$2(K^2, Na^2)+4H^2$	2,75 à 3,10	Granulites, gneiss et micaschistes. Produits secondaires.
Paragonite	id.	$2(Na^2, K^2)+4H^2$	2,8 à 2,9	Schistes métamorphiques avec disthène, staurotide.
Margarite......... (Gilbertite.)	id.	$3Ca+3H^2$	3,0	Schistes métamorphiques avec corindon, etc.
Zinnwaldite et Lépidolite	$M^6 Al^6 Si^{12} (O, Fl^2)^{48}$	Li, K, Na, H	2,8 à 3,0	Pegmatites et filons stannifères.

Les micas blancs sont inattaquables aux acides ; l'électro-aimant ne les attire pas. Ils sont incolores en lames minces.

I et II. Mêmes propriétés que les micas ferro-magnésiens.

III. Bissectrice négative n_p, perpendiculaire à p (001) (à 2° près[1]). Le plan des axes optiques est perpendiculaire à g^1 (010).

La Zinnwaldite fait seule exception à cette règle : le plan de ses axes est parallèle à g^1 comme dans les micas noirs.

Fig. 139. — Micas blancs.
——— Plans de glissement.
-.-.-.- Plans de choc.

$$(-)\ 2V = 30° \text{ à } 50° \quad \rho > v$$

(Muscovite) $n'_g = 1,613$ (Penneville, ML et Lx) 1,613 (Haidinger)
$n_m = 1,610$ —
$n''_p = 1,571$ — 1,581 —

$n_g - n'_p = 0,042$ (Penneville, ML et Lx).
$= 0,035$ (Montchanin, ML).
$= 0,035$ (Margarodite, ML et Lx).
$= 0,038$ (Gilbertite de St-Austel, Cornwal. ML et Lx).

[1] Tschermak. *Op. cit.*

Dans tous les micas blancs, l'eau peut remplacer une partie des protoxydes ; la *séricite* et la *damourite*, en petites lamelles écailleuses, sont des muscovites hydratées. Les auteurs allemands les considèrent comme des types de minéraux dus au dynamométamorphisme. Le polychroïsme est nul dans les micas blancs ; cependant le zircon y développe de petites auréoles verdâtres légèrement polychroïques et présentant leur teinte foncée perpendiculairement à n_p ; la chaleur les fait disparaître.

MINÉRAUX OPAQUES

(FER NATIF, PYRITES, GRAPHITE)

Le *fer natif* se trouve en plaques déchiquetées, moulant le feldspath des basaltes d'Ovifack (Groënland) et le péridot des météorites. Eclat métallique gris; traitées par un sel de cuivre, les plaques minces, renfermant du fer natif, donnent naissance sur ce minéral à un dépôt de cuivre métallique facilement reconnaissable par réflexion.

Pyrite. Cubes et cubo-octaèdres, octaèdres, etc., à reflet métallique jaune laiton.

Graphite. Paillettes et lamelles à reflet moins brillant, semblant parfois s'associer au mica noir de certains micaschistes. Il faut une calcination très prolongée dans une atmosphère oxydante pour les faire disparaître.

Le *fer oxydulé* est gris bleu par réflexion (voir *spinelle*); le fer *titané* gris brun (voir *ilménite*).

MONAZITE

$(Ce, La, Di)^3 Ph^2 O^8$.

Densité 4,9 à 5,20. Difficilement soluble dans l'acide chlorhydrique; infusible.

Gisement, pegmatites; inclusions dans l'apatite de Norwège, (cryptolite)[1].

I. Monoclinique, $a = 0{,}974$, $b = 1$, $c = 0{,}923$, ph^1 (001) (100) = 103° 50', mm (110) ($1\bar{1}0$) = 93° 23'.

Clivage p (001) facile, h^1 (100) difficile.

Prismes rectangulaires h^1g^1 (100) (010) avec pointement a^1 ($\bar{1}01$), o^1 (101), e^1 (011).

Brunâtre clair, non polychroïque en lames minces.

II. Macle suivant p^1 (001).

III. Plan des axes optiques perpendiculaire à g^1 (010)[2], bissectrice positive n_g faisant dans g^1 un angle de 3 à 4° avec l'arête h^1g^1 (100) (010), dans l'angle obtus ph^1 (001) (100).

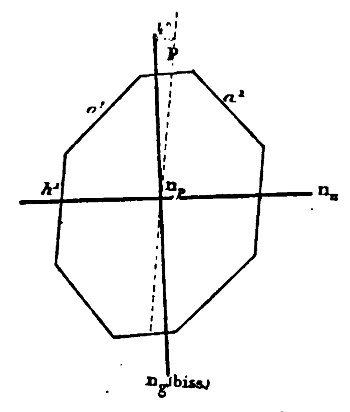


Fig. 140. — Section g^1.

Dispersion horizontale faible avec $\rho < v$.
Relief extrême; biréfringence considérable. (+) 2 V très petit.

MOSANDRITE

$Ca^3 Ce^4 (Si, Ti)^5 O^{19}$.

Densité 2,93 à 3,03. Soluble dans l'acide chlorhydrique en don-

[1] Mallard. *Sur la cryptolite* (*Bull. Soc. Min.*), t. IX, (1887), p. 236.
[2] Des Cloizeaux. *Troisième mémoire optique*, p. 150.

nant une liqueur rouge foncé; jaunissant en dégageant du chlore lorsqu'on le chauffe. Fusible en une perle brun vert.

Gisement, syénique éléolitique.

I. Monoclinique[1]. $a = 1{,}081$, $b \equiv 1$, $c = 0{,}813$, ph^1 (001) (100) $= 90°$, mm (110) $(1\bar{1}0) \equiv 88°\,36'$, o^1h^1 (101) (100) $= 138°\,2'$, $d^{1/2}d^{1/2}$ (111) $(1\bar{1}1)$ sur o^1 (101) $= 124°\,1'$.

Clivage facile suivant h^1 (100). Cassures nettes suivant g^1 (010), moins nettes suivant p (001).

Volumineux cristaux aplatis suivant h^1 (100) et allongés suivant la zone négative h^1g^1 (100) (010).

En lames minces, jaunâtre pâle avec polychroïsme insensible.

La mosandrite renferme de nombreuses inclusions de fluorine

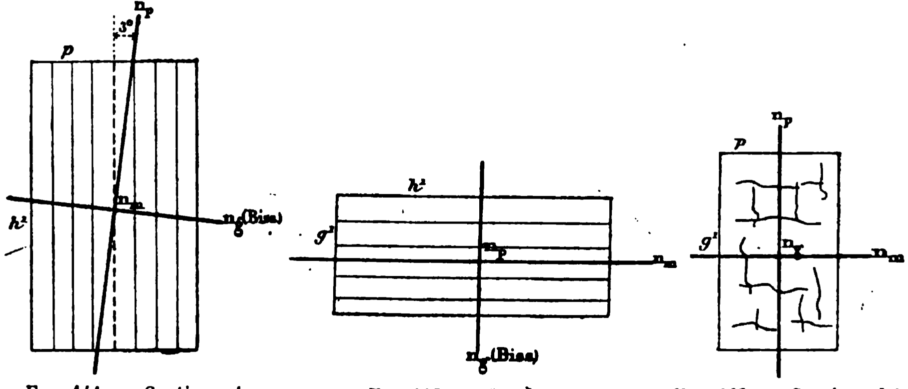


FIG. 141. — Section g^1. FIG. 142. — Section p. FIG. 143. — Section h^1.

violette, œgyrine, leucophane, eucolite, etc. L'eucolite est souvent en traînées allongées suivant l'arête ph^1 (001) (100) de la mosandrite et plus aplaties dans g^1 (010) que dans p (001).

II. Macles polysynthétiques suivant h^1 (100), avec axe de rotation perpendiculaire. Dans les sections g^1 (010), extinctions symétriques à 2 ou 3° de la ligne de macle.

III. Plan des axes optiques parallèle à g^1. La bissectrice positive n_g est à peu près perpendiculaire à h^1 (100).

La normale optique n_p fait dans g^1 (010) un angle de 3° environ avec l'arête h^1g^1 (100) (010).

[1] BRÖGGER. *Zeitschrift für Kryst.*, II, 275, 1878.

Biréfringence variable et facules de biréfringence plus intense, rappelant celles de l'épidote et de la zoïsite avec lesquelles la mosandrite présente certaines analogies.

Réfringence supérieure à celle du pyroxène.

$$(+)\ 2V = 56^\circ \text{ environ.}$$
$$n_m = 1,75?$$
$$n_g - n'_p = 0,007 \text{ à } 0,010 \text{ environ (ML et Lx).}$$

NÉPHÉLINE

(Na, K) Al Si O^4.

Densité 2,55 à 2,61. Facilement attaquable aux acides en faisant gelée.

Gisement, phonolithes, néphélinites, téphrites, roches à leucite, teschénites. Syénite éléolitique, porphyres à liébénérite.

I. Hexagonal. $a = 1$, $c = 0,836$, pb^1 (0001) (1011) = 136° 1'.

Clivage imparfait suivant p (0001) et m (1010), ne se montrant pas dans les plaques minces à moins que le minéral ne soit attaqué par les actions secondaires.

Allongement peu marqué suivant la zone du prisme, de signe négatif.

Sections rectangulaires et hexagonales.

L'éléolite n'est qu'une variété de néphéline spéciale aux roches granitiques (syénites éléolitiques); elle offre les mêmes propriétés que la néphéline.

Incolore en lames minces.

Par suite de sa très faible biréfringence, la néphéline demande à être étudiée en lames épaisses.

Très facilement attaquées par les actions secondaires, la néphéline et surtout l'éléolite sont fréquemment transformées en zéolites (analcime, mésotype, etc.).

La *liébénérite* et la *giéseckite* qui se présentent en cristaux hexagonaux, complètement transformés en produits micacés, sont considérées comme des pseudomorphoses de néphéline (porphyres du Tyrol, etc.).



III. Double réfraction à un axe négatif n_p^o.

Quelques variétés spéciales aux druses de la Somma (davyne, cavolinite, microsommite) possèdent une double réfraction positive [1].

$$n_g^o = 1,5427\ ^{2} \quad 1,5469\ ^{3} \quad 1,519\ ^{4}$$
$$n_p^o = 1,5378 \quad 1,5422 \quad 1,515$$
$$n_g - n_p = 0,0049 \quad 0,0047 \quad 0,004$$

PÉRICLASE

Mg O.

Densité 3,67 à 3, 75. Soluble dans les acides.

I. Cubique, formes dominantes a^1 (111), *p* (100).

Clivage *p* (100) très rectiligne, souvent très fin, manquant dans quelques sections, mais produisant parfois de fins réseaux analogues comme apparence aux inclusions de la haüyne. En amenant le condenseur à faire son foyer à la surface de la plaque mince, on arrive à faire disparaître ces stries.

La périclase forme de petits cristaux et des grains arrondis, souvent entourés d'une zone jaunâtre d'altération, dans les blocs calcaires de projection de la Somma.

$$N = 1,66$$

GROUPE DU PÉRIDOT

$(Mg, Fe, Mn)^2 SiO^4$.

Les minéraux de ce groupe possèdent la formule $2\ RO\ Si\ O^2$,

[1] E. Bertrand. *Bull. Soc. Min.*, V., 141, 1882.
[2] M.E. Wodworth.
[3] Penfield (Eléolite de l'Arkansas).
[4] Des Cloizeaux. (Cavolinite de la Somma).

RO pouvant être MgO, FeO ou MnO. Tous facilement attaquables par les acides en faisant gelée, ils sont orthorhombiques et possèdent une forte réfringence. Difficile fusibilité expliquant leur rôle de cristaux de première consolidation.

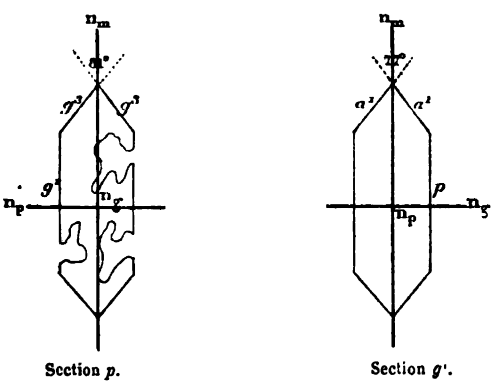
Gisement dans les péridotites, gabbros, norites, diabases, mélaphyres, basaltes. Dans quelques gabbros, les cristaux d'olivine sont entourés par une couronne d'amphibole fibreuse. Altérations fréquentes commençant ordinairement par la périphérie, et se propageant par les fentes.

OLIVINE

R = Mg, Fe.

Densité 3,3 à 3,45.

I. Orthorhombique. $a = 0{,}587$, $b = 1$, $c = 0{,}466$, e^1e^1 (101) ($\bar{1}$01) = 130° 3' sur p ; pointements habituels g^3g^3 (210) ($\bar{2}$10) sur h^1 = 80° 54' ; a^1a^1 (011) (01$\bar{1}$) sur h^1 = 76°54' ; mm (110) (1$\bar{1}$0) sur h^1 = 119° 13'. Allongement suivant l'arête de zone (±) pg^1 (001)



Section p. Section g^1.

Fig. 144. — Pointements de l'olivine.

(010). Formes habituelles p (001), g^1 (010), g^3 (210), a^1 (011), e^1 (101).

Sections de la zone d'allongement présentant des angles aigus (distinction avec la face h^1 (100) du pyroxène). Clivages h^1 (100) et g^1 (010) en général peu visibles dans les lames minces, mais se présentant parfois plus ou moins interrompus et irréguliers. Cassures curvilignes fréquentes. Incolore en lames minces.

L'olivine se transforme en serpentine, ou en un corps ferrugineux, rouge par transparence, à clivage facile suivant g^1, dont les axes optiques paraissent être situés, à l'inverse du péridot, dans un plan de la zone d'allongement. Parfois ce produit d'altération est polychroïque.

II. Macles suivant m (110) (monticellite). Associations suivant p (001)[1], notamment dans les lherzolites, avec légères différences d'extinctions des cristaux composants.

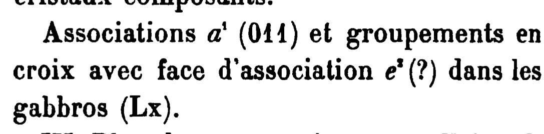


Fig. 145. — Section h

Associations a^1 (011) et groupements en croix avec face d'association e^2 (?) dans les gabbros (Lx).

III. Plan des axes optiques parallèle à h^1 (100), c'est-à-dire transversal à l'allongement dont le signe est tantôt positif [p (001)], tantôt négatif [g^1 (010)].

La bissectrice est positive n_g et perpendiculaire à p (001). Dispersion faible $\rho < v$.

$$(+)\ 2\,\mathbf{V} = 87^\circ \text{ environ.}$$

$$\mathbf{n_g} = 1{,}697 \text{ (jaune, Dx).}$$
$$\mathbf{n_m} = 1{,}678$$
$$\mathbf{n_p} = 1{,}661$$

$$\mathbf{n_g} - \mathbf{n_p} = 0{,}036$$

FAYALITE

R = Fe.

Densité 4.

La fayalite possède toutes les propriétés de l'olivine. Seul le signe de la bissectrice est différent (Lx) et l'écartement des axes

[1] Mac-Pherson. — Michel Lévy et Bergeron. *Mission d'Andalousie.*

optiques plus faible. La bissectrice est négative n_p et perpendiculaire à g^1 (010).

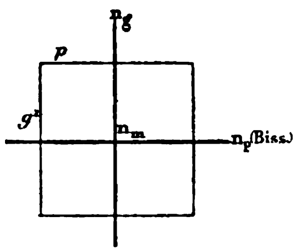


FIG. 146. — Section h^1

(— 2 V = 55° (Lx).

$n_g - n_p =$ 0,043 fayalite artificielle, ML.
0,049 péridot de l'eulysite de Tunaberg (ML et Lx).

TÉPHROÏTE

R = Mn.

Densité 4,06 à 4,12. Mêmes propriétés que la fayalite. [1]
Roches métamorphiques; gisements métallifères.

PÉROWSKITE

(Ca, Fe) Ti O^3.

Densité 4,1. Attaquable par l'acide sulfurique concentré et bouillant.

Gisement dans les roches métamorphiques et les basaltes à mélilite.

I. Pseudo-cubique. *p* (100), a^1 (111). Clivages *p*. Brun assez pâle en lames minces. Grande analogie avec le sphène, dont la pérowkite se distingue par sa biréfringence beaucoup plus faible.

II. Anomalies optiques constantes, visibles en lames minces.

[1] DES CLOIZEAUX. *Bull. Soc. Min.* 1884, 36.

Groupements par pénétration avec associations de lamelles biréfringentes[1].

L'association consiste en douze pyramides orthorhombiques hémimorphes, ayant chacune pour base une des faces du rhombododécaèdre et pour sommet le centre du cube. Cette association est celle de la boracite et de certains grenats. Seulement, ici, les faces du rhombododécaèdre n'existent pas réellement. Les arêtes des pyramides coïncident avec deux axes ternaires et deux axes quaternaires.

Les sections p (100) montrent deux systèmes à angle droit de lamelles biréfringentes s'éteignant suivant les diagonales de p (100) et perpendiculaires à l'indice moyen n_m d'une substance biaxe. En

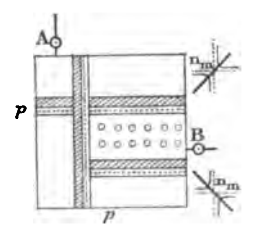


Fig. 147. — Section p.

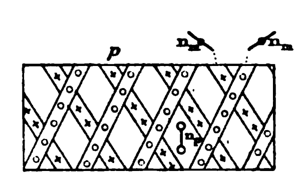


Fig. 148. — Section b^1.

outre, deux séries de plages obscures sont sensiblement perpendiculaires à un axe optique (A ou B) et ont le plan des axes optiques dirigés comme les côtés de p (100).

Les sections b^1 (110) montrent deux séries de lamelles à 64° ou 65°, s'éteignant à 45° des traces p (100) et perpendiculaires à un axe n_m. L'intérieur des losanges s'éteint suivant leurs diagonales : il est perpendiculaire à une normale optique n_p de deux axes très écartés, dont le plan est parallèle à la grande diagonale du rhombe.

III. Il résulte des précédentes observations qu'il y a enchevêtrement des douze pyramides orthorhombiques élémentaires (six distinctes au point de vue optique).

Chacune d'elles a deux axes optiques très écartés (2 V voisin de 90°) dans un plan parallèle à la grande diagonale du rhombe b^1 (110), c'est-à-dire à deux axes quaternaires du cube. La normale optique

[1] Mallard.
Ben Saude. *Ueber den Perowskit.* Göttingen, 1882.
Klein. *Neues Jahrb.* (*Beil. Bd.*), I, 245, 1884.

n_p est perpendiculaire à b^1 (110), c'est-à-dire parallèle à un axe binaire : la bissectrice n_g est parallèle à un autre axe binaire.

On conçoit dès lors pourquoi les divers axes optiques coïncident avec les axes quaternaires du cube, et sont respectivement perpendiculaires à p (100). M. Ben Saude a constaté que, par la chaleur, on déplace les plans apparents de macle. Il a remarqué que les fissures préexistantes des cristaux arrêtent ces lamelles qui ne se suivent pas dans le même ordre au delà de la fissure, sans, du reste, qu'il y ait rejet ou déplacement relatif des deux parties du cristal.

D'après M. Klein, on trouve des plages uniaxes, positives, perpendiculairement à p (100), d'autres à deux axes plus ou moins rapprochés parallèlement aux arêtes du cube, à bissectrice n_g perpendiculaire à p (100).

M. Mallard explique ces phénomènes par la superposition de deux réseaux ayant tourné de 90° autour d'un des axes quaternaires du cube ; si chacune des séries de lamelles est en égale épaisseur, l'ellipsoïde résultant doit être de révolution, sinon il présente deux axes optiques rapprochés.

$(\pm)$ 2 **V** = environ 90°.

N = 2,35

$\mathbf{n_g} - \mathbf{n_p}$ = 0,006 à 0,007

PÉTALITE

(CASTOR)

Li Al Si⁴ O¹⁰.

Densité 2,397 (castor) à 2,56.

Fusible, attaquable par l'acide fluorhydrique, tandis que le triphane résiste : inattaquable par l'acide chlorhydrique.

Gisement dans les granulites en compagnie du triphane, de la tourmaline rouge et bleue, etc.

I. Monoclinique. Formes voisines de celles des pyroxènes et notamment du triphane, mais les clivages et les propriétés optiques sont différentes. $a = 1{,}153$, $b = 1$, $c = 0{,}744$, ph^1 (001) (100) = 112°26', mm (110) ($1\bar{1}0$) = 86° 20' sur h^1 (100), $po^{1/2}$ (001) (201) = 141°.

Formes dominantes (*castor* de l'île d'Elbe), p (101), h^1 (100), m (110), o^1 (101), $o^{1/2}$ (201).

Clivages faciles p (101), $o^{1/2}$ (201), difficile suivant $a^{5/9}$ ($\bar{9}05$).

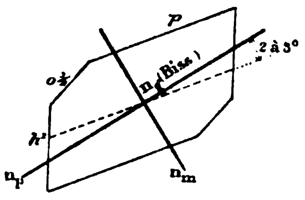


Fig. 149. — Section g^1.

Masses lamellaires et grenues (*pétalite*), cristaux arrondis (*castor*). Incolore en lames minces.

III. Plan des axes optiques perpendiculaire à g^1 (010)[1], bissectrice positive n_g également perpendiculaire à g^1 (010) : n_p fait dans l'angle aigu ph^1 (001) (100) un angle de 2 à 3° avec l'arête pg^1 (001) (010). Dispersion $\rho < v$ faible.

$$(+)\ 2\,V = 83°\ 34'\ \text{(jaune, Dx)}.$$

$$n_g = 1{,}516\ \text{(Utö, ML et Lx)}.$$
$$n_m = 1{,}510$$
$$n_p = 1{,}504$$
$$n_g - n_p = 0{,}012.$$

PHÉNACITE

$Gl^2\,Si\,O^4$.

Densité 2,96 à 3,0. Infusible, inattaquable.

La phénacite se trouve dans les micaschistes de l'Oural en gros cristaux arrondis, sans allongement déterminé. Incolore.

I. Rhomboédrique ; $a = 1$, $c = 0{,}651$; pp ($10\bar{1}1$) ($0\bar{1}11$) = 116° 36'.

[1] Des Cloizeaux. *Ann. phys. et chimie*, 4 série, t. III (1864).
— *Manuel de minéralogie*, 1er fascicule, t. II, p. xxxvi.

Clivage difficile suivant p ($10\bar{1}1$) et d^1 ($11\bar{2}0$).

II. Macle suivant e^2 ($10\bar{1}0$).

III. Double réfraction positive à un axe (+) n_g^o.

$n_g^o = 1,670$ (moyenne dans le jaune, Grailich).

$n_p^o = 1,654$

$$n_g - n_p = 0,016.$$

PHOLÉRITE

(KAOLINITE)

$H^4 Al^2 Si^2 O^9$.

Densité 2,34 à 2,57.

I. Probablement triclinique, pseudo-hexagonal.

II. Petites tables hexagonales aplaties suivant p avec modifications en biseau. Clivage micacé suivant la base; traces rectilignes suivant les côtés de l'hexagone.

III. Extinction des tables hexagonales (plan des axes optiques) à 12° d'une normale à deux côtés opposés. Extinction des sections transversales à 15 à 20° des traces du clivage facile. Deux axes assez écartés autour d'une bissectrice négative (—) n_p, voisine d'être perpendiculaire à p (001).

Réfringence et biréfringence analogues à celles du mica blanc. L'obliquité des extinctions serait, d'après M. H. Reusch[1], le meilleur caractère distinctif du kaolin.

---

[1] H. Reusch. *Neues. Jahrb. f. Min.*, 1887, II, 71.

GROUPE DU PYROCHLORE

$R^2 (Ta, Nb, Ti)^2 O^7$.

Pyrochlore (mikrolith). $R = Na^2, K^2$.
Koppite id. densité 4,18 à 4,37.
Pyrrhite $R = Ca, Mn, Mg$. Densité 4,45 à 4,56.

Ces minéraux sont rares et ne se trouvent que dans quelques gisements spéciaux : syénite éléolitique (*pyrochlore*), syénite des Açores (*pyrrhite*), cipolins métamorphiques (*koppite*).

Cubiques : forme dominante a^1 (111); souvent en grains arrondis : pas de clivage distinct. Brun rougeâtre ou jaunâtre plus ou moins foncé (*pyrochlore*, *pyrrhite*), brun clair (*koppite*); les cristaux sont parfois zonés (*pyrochlore*).

Les minéraux de ce groupe possèdent un indice de réfraction très élevé, se manifestant par un relief énergique et un chagrinage analogues à celui du sphène.

La koppite est accompagnée dans les cipolins du Kaiserstuhl par un autre niobotitanate, la *dysanalite*, se présentant en cubes *p* (100) opaques, noir de fer.

PYROPHYLLITE

$H^2 Al^2 Si^4 O^{12}$.

Densité 2,785. Gisement, roches métamorphiques.

I. Orthorhombique. Clivage micacé suivant *p* (001).

La pyrophyllite se présente soit en lamelles, soit en sphérolithes constitués par des lames accolées suivant *p* (001). La trace du clivage facile est toujours positive. Extinctions moirées comme dans les substances sphérolithiques. Incolore.

III. Plan des axes optiques perpendiculaire à *p* (001). Bissectrice

négative (n_p), perpendiculaire à p (001). Dispersion faible $\rho > v$.

Les teintes de polarisation sont vives et semblables à celles de de la muscovite : la pyrophyllite est fort difficile à distinguer de

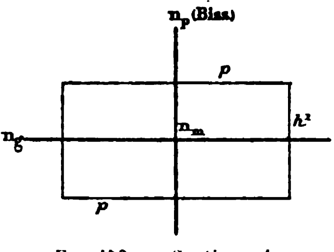


Fig. 150. — Section g^1.

cette dernière substance; l'angle des axes optiques est beaucoup plus écarté dans la pyrophyllite que dans la muscovite.

$$(-)\ 2\mathbf{V} = 62°.$$
$$\mathbf{N} = 1{,}58$$
$$\mathbf{n_g} - \mathbf{n_p} = 0{,}041 \text{ (ML et Lx)}.$$

GROUPE DES PYROXÈNES

($M SiO^3$) + m R^2O^3 ou $MR^2Si^4O^{12}$.

M = Mg, Ca, Fe, Mn, Na^2, Li^2. — R = Fe, Al.

La chaux est plus abondante que la magnésie.

Inattaquables aux acides, difficilement attaquables par l'acide fluorhydrique, fusibles au rouge, les pyroxènes cristallisent par fusion ignée[1].

Les pyroxènes apparaissent dans toute la série des roches éruptives, dans les gneiss et schistes métamorphiques.

I. *Orthorhombiques* (hypersthènes), *monocliniques* (pyroxènes), *tricliniques* (rhodonite). Angle *mm* (110) ($1\bar{1}0$) sur h^1 (100) des pyroxènes monocliniques et sur g^1 (010) des pyroxènes orthorhombiques, voisin de 87°. Clivages *mm* (110) ($1\bar{1}0$) marqués, mais plus grossiers et plus interrompus que ceux des amphiboles.

Zone d'allongement *mm* (110) ($1\bar{1}0$) positive avec extinction maximum de 38 à 45°, se produisant dans g^1 (010). Sections transversales carrées, hexagonales, octogonales.

Par actions secondaires, les pyroxènes présentent un clivage rectiligne h^1 (100) (diallage), puis se transforment en amphibole, et enfin en chlorite, épidote, calcite, serpentine, etc.

II. Macle des pyroxènes monocliniques souvent multiple suivant h^1 (100); parfois suivant p (001). Les augites des basaltes présentent en outre les macles rares en croix suivant o^1 (101 b^1 $d^{1/2}$ $g^{1/2}$ ($\bar{1}22$), (voir les macles similaires de la bronzite).

III. Plan des axes optiques des pyroxènes monocliniques dans g^1 (010). Bissectrice généralement positive n_g, faisant avec h^1g (100) (010) un angle α variable, mais très grand (de 38 à 45°), dans l'angle obtus ph^1 (001) (100).

[1] DŒLTER. *Min. Mitth.*, 65, 1877. — 49, 1878. — 193, 1879. — 450, 1880.

Le polychroïsme est insensible en plaque mince, ou faible et variable

La réfringence et la biréfringence sont en moyenne supérieures à celles des amphiboles correspondantes; dans les pyroxènes orthorhombiques, la biréfringence est faible, voisine de celle du quartz. Dispersion inclinée notable.

Les paramètres des pyroxènes monocliniques sont les suivants : $a = 1{,}095$, $b = 1$, $c = 0{,}591$; ph^1 (001) (100) = 106° 1', mm (110) ($1\bar{1}0$) = 87° 5'[1], pointements $d^{1/2}$ (111), $b^{1/2}$ ($\bar{1}11$), p (001), a^1 ($\bar{1}01$). Les profils $b^{1/4}$ ($\bar{2}21$), $e^{1/2}$ (021), assez rares, donnent des pointements à angles aigus dans les sections principales. Les autres pointements sont obtus.

Fig. 151. — Pyroxènes. Section g^1.

Le *diopside* et la *mussite* présentent des formes à section droite carrée $h^1 g^1$ avec pointements $d^{1/2}$ $b^{1/4}$.

Le *diallage* est souvent aplati suivant h^1 avec pointements $b^{1/2}$.

La *fassaïte* présente des prismes carrés m avec pointements $d^{1/2}$ $b^{1/4}$. Parfois m et $b^{1/4}$ y stimulent des octaèdres.

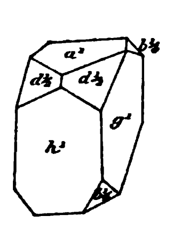


Fig. 152. — Diopside.

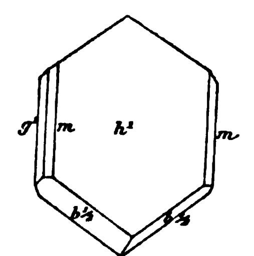


Fig. 153. — Diallage.

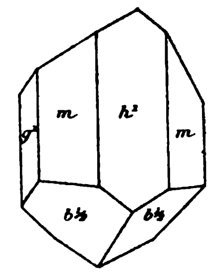


Fig. 154. — Augite.

L'*augite* est généralement en prismes octogonaux mh^1g^1 à pointements $d^{1/2}$, $b^{1/2}$, p, a^1.

La fassaïte de Warwick présente un aplatissement suivant p et un allongement suivant ph^1.

[1] Nous avons adopté les nombres de M. Des Cloizeaux. Voici ceux de M. Tschermak : $a = 1{,}090$, $b = 1$, $c = 0{,}589$, ph^1 = 105° 49', mm = 87° 6'.

PYROXÈNES RHOMBIQUES

(Mg, Fe) Si O^3.

Les pyroxènes orthorhombiques sont inattaquables aux acides, fusibles à haute température, ils cristallisent par fusion ignée. Gisement dans les norites, les péridotites, les nodules à olivine des basaltes, dans les porphyrites, les andésites, enfin dans les météorites.

I. Nous adoptons les notations de MM. Des Cloizeaux et Rosenbusch ; elles ne concordent pas avec celles du récent travail de M. Becke :

$a = 0,971$, $b = 1$, $c = 0,570$; mm (110) (1$\bar{1}$0) sur h^1 (100) = 91° 40'; a^1a^1 (101) ($\bar{1}$01) sur p (001) = 119° 3'.

Une transformation de coordonnées assez simples montre que les hypersthènes sont presque isomorphes avec les pyroxènes : M. Tschermak a mis le fait en évidence, en prenant pour h^1 de l'hypersthène le g^1 précédemment choisi ; on a alors :

a' (ancien b) = 1,030; b'; (ancien a) = 1; c' (c) = 0,587; $ph^1 = 90°$.

D'autre part, dans le pyroxène, on choisit les nouvelles notations de la façon suivante : les faces m (110) sont conservées.

La nouvelle face p (001) correspond à l'ancien a^2 ($\bar{1}$02).

—	o^2 (102)	—	p (001).
—	a^2 ($\bar{1}$02)	—	a^1 ($\bar{1}$01).

Il est alors facile de calculer les nouveaux paramètres du pyroxène :

$a' = 1,0585$, $b' = 1$, $c' = 0,5492$ pour $ph^1 = 89° 38'$.

Cette transformation n'a pas seulement une portée théorique : elle explique pourquoi, dans le système de notations usuelles que nous avons conservé, les hypersthènes se maclent suivant leurs faces g^1 (010) avec les faces h^1 (100) des diallages. Elle assimile en outre entièrement les macles en croix du pyroxène avec celles des bronzites.

Les pointements des hypersthènes ne sont visibles que dans les porphyrites, les andésites et quelques météorites vacuolaires; les péridotites massives ne les laissent pas soupçonner. Les profils les plus fréquents sont de 148° 8' dans les sections h^1 (100); ils correspondent aux faces e^2 (012).

Dans les sections g^1 (010), l'angle est de 119° 3' et se rapporte

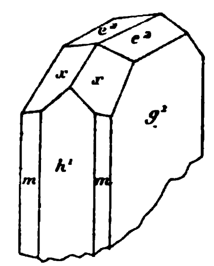


FIG. 155. — Pointements de l'hypersthène.

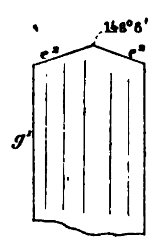


FIG. 156. — Profil de la section h^1.

à des modifications de la zone h^1a^1 (100) (101), notamment aux facettes $x = b^1b^{1/3}h^{1/2}$ (212). L'allongement, toujours positif, est marqué suivant h^1g^1 (100) (010) ; il y a en outre un certain aplatissement parallèle à g^1.

Les clivages *mm* (110) (1$\bar{1}$0) sont tout à fait analogues à ceux du pyroxène ; dans les variétés compactes des norites, des serpentines et des péridotites, et surtout dans les variétés dites bronzites, on voit apparaître un clivage micacé, à reflet bronzé, suivant g^1 (010) ; il y a en outre des cassures h^1 (100).

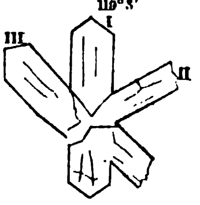


FIG. 157. — Macles en croix de l'hypersthène.

II. Les hypersthènes ont une tendance à s'accoler suivant g^1 ; on a signalé en outre des macles assez rares, mais nettes, en croix, suivant plusieurs faces de la zone ph^1, de telle sorte que les divers cristaux ont tous leurs faces g (010) dans un même plan. Les angles relevés par M. F. Becke[1] conduisent aux faces d'association :

a^1	(101)	correspond à une croix de	61° (I, II).
$a^{3/2}$	(203)	—	42° (I, III).
$a^{3/4}$	(403)	—	76° (I, III).

[1] F. BECKE. *Tsch. min. petr. Mitheil.*, V, 527, 1883.

La macle a^1 correspond entièrement à la macle en croix de l'augite suivant $b^1d^{1/2}g^{1/2}$ ($\bar{1}22$).

Enfin on a signalé dans les hypersthènes des lamelles hémitropes suivant e^1 (014) que M. Rosenbusch rapporte à la dynamométamorphose et aux glissements que produisent les actions mécaniques.

III. Plan des axes dans g^1 (010) ; n_g est toujours perpendiculaire à p (001) ; autour de n_g, la dispersion donne toujours $\rho > v$.

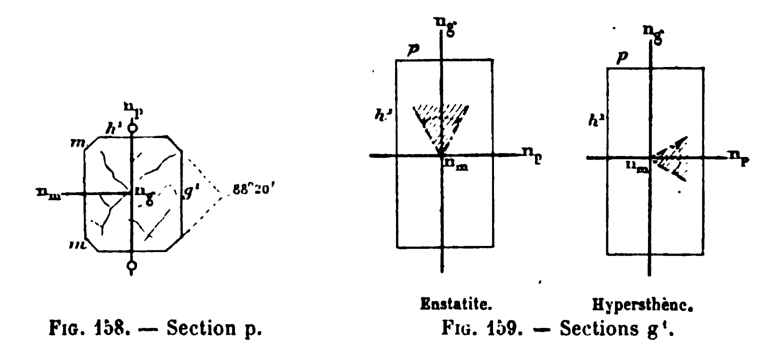


Fig. 158. — Section p.

Fig. 159. — Sections g¹.

L'écartement des axes optiques varie avec la teneur en fer, et diminue autour de n_p à mesure que cette teneur augmente. La bissectrice est négative (n_p) dans l'hypersthène, positive (n_g) dans l'enstatite.

La réfringence est analogue à celle des pyroxènes, la biréfringence près de trois fois moindre.

ENSTATITE

Moins de 5 p. 100 de fer (FeO). Densité 3,1.

I. On observe souvent une substance talqueuse à forte biréfringence qui se glisse dans les clivages faciles g^1 (010).

II. L'enstatite se macle avec le diallage suivant h^1 (100) de ce dernier minéral. Dans ce cas, h^1 (100) du diallage coïncide avec g^1 (010) de l'enstatite, en même temps que les arêtes h^1g^1 (100) (010) sont parallèles.

III. Bissectrice positive n_g. Plaques minces incolores.

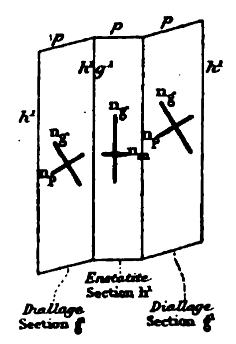


Fig. 160. — Macles d'enstatite et de diallage.

$$(+)\ 2\,V = 70^\circ$$

n_g (jaune) $= 1,674$ (Offret).
n_m $= 1,669$
n_p $= 1,665$

$n_g - n_p = 0,009$ (moyenne, ML).

HYPERSTHÈNE

Les bronzites peuvent être définies comme contenant de 5 à 14 p. 100 de FeO, les hypersthènes au-dessus de 14 p. 100. Densité 3,25 à 3,39.

I. Ce groupe contient fréquemment des inclusions aplaties, brunes, à reflet bronzé caractéristique. Ce sont des baguettes aplaties couchées dans g^1 (010) et disposées en files :

1° Perpendiculairement à h^1g^1 (100) (010);

2° Parallèlement à cette arête ;

3° Faisant avec cette arête un angle de 30° d'un seul côté.

Parfois les inclusions (Arvieu) sont très allongées et dentelées ; les redans sont rectilignes et perpendiculaires à h^1g^1 (100) (010).

Vues sur leurs tranches, les inclusions sont très minces, courtes sur p (001), allongées sur h^1 (100). On les a rapportées avec doute à la brookite, au fer titané, à l'oligiste.

M. Judd explique leur naissance en la rapportant à des phénomènes de dynamométamorphisme. Il pense qu'il existe dans l'hy-

persthène des plans de dissolution facile h^1 (100), g^1 (010), p (001), coïncidant avec des plans de glissement ou de macles par actions secondaires mécaniques. Les liquides d'attaque sous pression s'y glisseraient, y produiraient des figures de corrosion, dans lesquelles se déposent ensuite des produits ferrugineux.

II. Macles en croix a^1, $a^{1/2}$, $a^{3/4}$ (fig. 157).

III. La bissectrice n_p est négative. Le polychroïsme est sensible dans les tons verts et bruns.

$$(-)\ 2\,V = 50^\circ$$

$n_g = 1,705$	(Labrador, ML et Lx)	vert.
$n_m = 1,702$	—	brun jaunâtre.
$n_p = 1,692$	—	brun rouge.

$$n_g - n_p = 0,013\ (ML).$$

La szaboïte de M. Krenner est une variété d'hypersthène.

PYROXÈNES MONOCLINIQUES

DIOPSIDE

(Ca, Mg) Si O^3.

Densité 3,3. Hédenbergite (diopside ferrifère), densité 3,46 à 3,71.

I. La zone d'allongement *mm* (110) ($1\bar{1}0$) est très marquée ; traces de feuilletage suivant h^1 (100) et g^1 (010). Cassures transversales.

Transformation en serpentine par actions secondaires. Couleur vert pâle en plaque mince.

II. La macle h^1 (100) est souvent composée de deux individus seulement.

Il existe en outre une macle p avec nombreuses et fines lamelles hémitropes ; la zone de symétrie de cette macle, perpendiculaire à p (001) et rapportée à la trace de ce plan, est négative et présente dans g^1 (010) une extinction maximum à 24°.

III. L'angle α est de 38° (voir fig. 151), dans les variétés dépourvues de fer.

(+) 2 V = 59°.

n_g (jaune)	= 1,7026 (Des Cloizeaux),	1,6996 (Dufet).
n_m	= 1,6798	1,6776
n_p	= 1,6726	1,6707
$n_g - n_p$	= 0,030	0,0289

Certaines *malacolites* des schistes métamorphiques (cornes vertes, schistes à wernérite de Bretagne) sont encore moins biréfringentes et ne dépassent pas 0,025.

M. Flink [1] a établi que, du diopside dépourvu de fer à l'*hédenbergite* (Ca, Fe) SiO^3, on trouve toutes les variétés de passage. L'angle α grandit à mesure que la proportion de fer augmente et varie de 38° à 44° 38'. L'angle (+) 2 V (jaune) varie dans le même sens de 58° 52' à 60° 36'; enfin l'indice moyen n_m (jaune) augmente avec la proportion de fer et varie de 1,68 à 1,72.

Un diopside d'Ala, étudié par M. Dufet au point de vue de la dispersion, lui a donné :

	LITHIUM	C	D	THALLIUM	F
n_g	1,6956	1,6962	1,6996	1,7035	1,7077
n_m	1,6738	1,6744	1,6776	1,6812	1,6850
n_p	1,6669	1,6675	1,6707	1,6742	1,6780

DIALLAGE

(Ca, Mg, Fe) SiO^3 + *m* Al^2O^3 ou (Ca, Mg, Fe) Al^2SiO^6

Densité 3,30 à 3,34.

I. Cristaux rarement terminés. Outre les clivages *mm* (110) $(1\bar{1}0)$, il y a un clivage rectiligne, fin et serré, suivant h^1 (100), parfois suivant g^1 (010), rarement suivant *p* (001). Ces trois derniers clivages sont d'ailleurs en relation avec des macles ou des inclusions. Aplatissement suivant h^1.

Le diallage a une tendance marquée à l'ouralitisation, c'est-à-dire à l'épigénie en amphibole.

II. La macle *p* (001), avec fines lamelles hémitropes, est fré-

[1] Flink. *Zeitsch, f. Krystall.*, XI, 449, 1886.

quente ; zone de symétrie négative avec maximum à 24° comme pour le diopside.

Souvent la bronzite ou l'enstatite se maclent avec le diallage de telle façon que h^1 (100) du diallage s'applique sur g^1 (010) de l'enstatite, en même temps que les arêtes h^1g^1 des deux minéraux sont parallèles (voir fig. 160).

La face h^1 (100) du diallage contient fréquemment des lamelles brunes à reflet métallique bronzé, rangées en allongement perpendiculaire à h^1g^1 (100) (010). Dans les sections g^1, ces lamelles montrent leur tranche extrêmement étroite, parallèle à l'arête h^1g^1 (100) (010). Dans p (001), cette même tranche est parallèle à ph^1 (001) (100).

III. L'angle α (fig. 151) varie de 39 à 46°. Le clivage facile h^1 (100) montre un axe optique.

Polychroïsme faible, parfois appréciable.

$$(+)\ 2\,\mathbf{V} = 54°.$$

$\mathbf{n}_g = 1{,}703$ (cap Lizard, ML et Lx) verdâtre.
$\mathbf{n}_m = 1{,}681$ — jaunâtre.
$\mathbf{n}_p = 1{,}679$ — verdâtre.

$$\mathbf{n}_g - \mathbf{n}_p = 0{,}024.$$

AUGITE

(Ca. Mg, Fe) Si O^3 + m (Al, Fe)^2 O^3.

Densité, 3,30 à 3,50.

I. Cristaux peu allongés m (110), h^1 (100), g^1 (010), $b^{1/2}$ ($\bar{1}11$), zonaires ; ne présentant en général que les clivages mm (110) ($1\bar{1}0$). L'augite passe fréquemment au diallage dans les diabases. Il s'associe à l'ægyrine dans les roches à haüyne, néphéline et leucite ; il s'allonge alors et de brun devient vert. Il est violet dans les variétés titanifères de certains basaltes (Mont-Dore, etc.).

II. La macle h^1 (100) se compose souvent de deux individus principaux, séparés au milieu de l'assemblage par plusieurs fines lamelles hémitropes.

L'augite basaltique présente deux macles rares suivant o^1 (100) et $b^1d^{1/3}g^{1/2}$ ($\bar{1}22$).

Macles avec l'amphibole suivant h^1, avec le mica noir dont la face p (001) s'applique sur une des faces m (110) de l'augite.

III. L'angle α (fig. 151) est grand; il varie de 40 à 54°. Le polychroïsme n'est sensible en plaque mince que dans les variétés sodifères :

	n_g	n_m	n_p
Augite des roches à leucite	vert olive	vert d'herbe	brunâtre.
— phonolites —	vert	rougeâtre	vert.
— téphrites —	rouge brun	vert	rouge brun.

$$(+)\ 2\,V = 60^\circ \text{ à } 68^\circ.$$

n_g = 1,733 (Auvergne ML et Lx) 1,728 (autre échantillon Auvergne ML et Lx).
n_m = 1,717 — 1,712 —
n_p = 1,712 — 1,706 —

$$n_g - n_p = 0{,}022.$$

La variété manganésifère *schefférite* jouit des mêmes propriétés optiques. Elle se présente parfois en cristaux tabulaires, aplatis suivant p (001), à zone d'allongement négative avec extinction maximum de 25° dans g^1 (010).

TRIPHANE

$$(Li^2, Na^2)\ Al^2\ Si^4\ O^{12}.$$

Pyroxène lithique. Densité 3,1 à 3,2. Gisement dans les granulites acides.

I. Isomorphe avec le diopside. $a = 1{,}124$, $b = 1$, $c = 0{,}635$, mm (110) ($1\bar{1}0$) = 87°, ph^1 (001)(100) = 110° 20'. Clivage parfait suivant h^1 (100), facile suivant m (110).

Zone d'allongement mm (110) ($1\bar{1}0$) positive avec extinction maximum de 26° dans g^1 (010). Incolore en lame mince.

II. Macle h^1 (100).

III. Plan des axes optiques dans g^1 (010) ; la bissectrice positive n_g est orientée comme celle des pyroxènes ; l'angle α (fig. 151) est de 26°.

La distinction avec les pyroxènes incolores est assez difficile. Les clivages sont plus accusés et plus rectilignes ; la réfringence

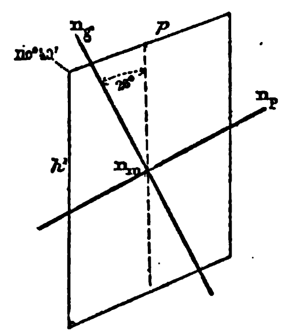


Fig. 161. — Section g^1

moyenne est plus faible, ainsi que la biréfringence.

$$(+)\ 2\ V\ (\text{rouge}) = 54 \text{ à } 60°.$$
$$n_g = 1{,}676 \text{ (Brésil) (ML et Lx).}$$
$$n_m = 1{,}666$$
$$n_p = 1{,}660$$
$$n_g - n_p = 0{,}016.$$

JADÉITE

$Na^2 Al^2 Si^4 O^{12}$.

Densité 3,2 à 3,4.

I. Clivages marqués *mm* (110) ($1\bar{1}0$), cassures h^1 (100). Zone d'allongement très nette ; fibres entrelacées ; incolore en lames minces.

III. Angle α (fig. 151) variable de 31° à 45°. Axes dans g^1 (010) ; bissectrice positive n_g. L'angle (+) 2 V est voisin de 70°. $\rho > \nu$ (Dx).

$$n_g - n_p = 0{,}029 \text{ (Thibet, ML et Lx).}$$

La jadéite est en somme voisine, comme propriétés optiques, du diopside.

ACMITE ET ŒGYRINE

$Na^2 Fe^2 Si^4 O^{12}$.

Densité 3,5 à 3,6. Gisement dans la syénite éléolitique, dans les phonolites, certains trachytes, etc.

I. Isomorphe avec les pyroxènes. $a = 1{,}097$, $b = 1$, $c = 0{,}607$, *mm* (110) ($1\bar{1}0$) = 86° 56', ph^1 (001) (100) = 106°. Faces *m* (110) et h^1 (100) développées ; clivages marqués *mm* (110) ($1\bar{1}0$), g^1 (010). Zone d'allongement très nette, négative, à extinction, maximum de 5° dans g^1 (010).

II. Macle h^1 (100)

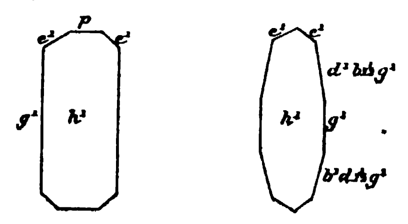


FIG. 162. — Profils suivant les sections h^1.

III. L'angle α (fig. 151) s'exagère à mesure que le fer et la soude prédominent sur les autres bases ; dans l'acmite et l'œgy-

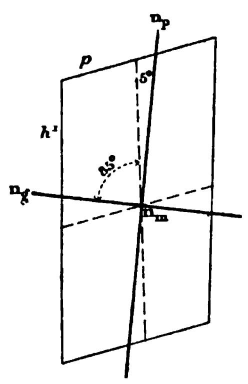


FIG. 163. — Section g^1.

rine, il atteint 85°. L'indice n_p fait alors un angle de 5° avec h^1g (100) (010) dans l'angle aigu ph^1 (001) (100). La bissectrice paraît

être négative n_p ; mais l'angle 2 V est très grand, voisin de 90°.

Le polychroïsme est intense.

(—) 2 V voisin de 90°.

	Acmite	Œgyrine
n_g	brun verdâtre	vert jaunâtre
$n_m = 1,8084$	brun clair	vert olive.
n_p	brun foncé	vert.

$n_g - n_p = 0,051$ à $0,053$ (ML et Lx).

L'œgyrine s'associe à l'augite dans les trachytes et syénites à œgyrine des Açores, du Portugal, du Brésil, etc.

PYROXÈNES TRICLINIQUES

BABINGTONITE

(Ca, Fe, Mn) Fe^2 Si^4 O^{12}.

Densité 3,35 à 3,40. Inattaquable par les acides, facilement fusible.

Gisement, granulites, schistes métamorphiques.

I. Triclinique. *mt* ($1\bar{1}0$) (110) = 112° 12', *pt* (001) (110) = 87° 24'.

Clivage très rectiligne suivant *p* (001), moins facile suivant *t* (110). Formes très voisines du pyroxène en assimilant les faces *p* (001) et *t* (110) de la babingtonite, aux clivages *mm* (110) ($1\bar{1}0$) des pyroxènes.

III. Le plan des axes optiques paraît voisin de *t* (110) ; il est perpendiculaire au clivage facile *p* (001). Dans la babingtonite d'Arendal allongée suivant h^1g^1 (100) (010), les sections les plus biréfringentes ne montrent que les traces transversales et très fines du clivage *p* (001).

La normale optique n_p fait un angle d'environ 40° avec les traces *p* (001). La bissectrice est positive n_g.

(+) 2 V = 60 à 65°.

n_g brun assez foncé.
n_m brun violacé pâle.
n_p vert émeraude très foncé.

$n_g - n_p = 0,032.$

Grande dispersion, polychroïsme intense même en plaques minces.

RHODONITE

Mn Si O³.

Le pyroxène manganésifère est triclinique, presque isomorphe avec le diopside. Densité 3,42 à 3,63.

I. Angle *mt* (110) $(1\bar{1}0)$ = 87° 21'.
*ph*¹ (001) (100) = 107° 24'.

Clivages faciles *mt* et transversal.

La face *m* est la plus développée. La zone d'allongement *mt* est de signe variable et présente toutes les extinctions de 0 à 45°.

III. Le plan des axes optiques [1] fait avec *m* $(1\bar{1}0)$ un angle de

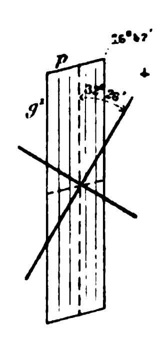


Fig. 164. — Section *h*¹.

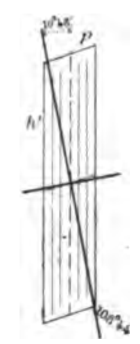


Fig. 165. — Section g¹.

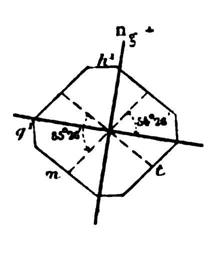


Fig. 166. — Section *p*.

63°, avec *p* (001) 38° 30'. La bissectrice négative n_p est perpendiculaire à un plan faisant avec *m* 51° 47' et avec *p* 51° 40'. La normale optique n_g est presque parallèle à *p*.

Dispersion des axes faibles, $\rho < v$. Forte dispersion tournante.

(—) 2 **V** (jaune) = 76°.

$\mathbf{n}_m = 1{,}73$

$\mathbf{n}_g - \mathbf{n}_p$ = 0,010 à 0,011 (Langban; ML et Lx).

---

[1] Flink. *Zeitsch. f. Krystall.*, XI, 449, 1886.
Des Cloizeaux. *Bull. Soc. Min.* 1884, 72.

WOLLASTONITE

Ca Si O^3.

Densité 2,8 à 2,9. Fait gelée avec les acides. **Incolore.**
Gisement dans les roches métamorphiques dans les druses des roches volcaniques.

I. Monoclinique. $a = 0,966$, $b = 1$, $c = 1,114$, mm (110) ($1\bar{1}0$) = 95° 39' sur h^1 (100), ph^1 (001) (100) = 110° 15'. Clivages faciles p, $o^{1/2}$, h^1, $a^{1/2}$; $pa^{1/2}$(001) ($\bar{2}$01) = 95° 26', $po^{1/2}$(001)(201) = 129° 42'.

La wollastonite[1] se présente en grains cristallins (englobements calcaires des laves) et en cristaux fibreux (schistes métamorphiques pyroxéniques) allongés suivant la zone ph^1 (001)(100). Cette zone, perpendiculaire au plan des axes optiques, est parallèle à

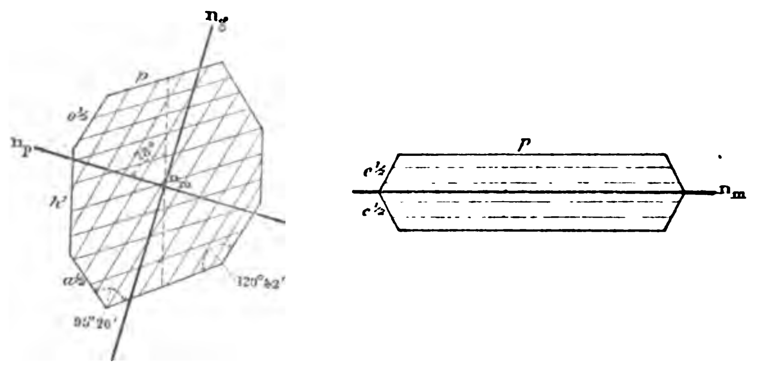


Fig. 167. — Section g^1.

Fig. 168. — Section h^1.

n_m; elle est donc de signe variable, plus souvent positif que négatif, avec extinctions toujours à 0°.

II. Macle fréquente et répétée à larges bandes moirées, suivant p. Zone de symétrie perpendiculaire à p, de signe variable, avec extinctions de 0° à 45°. Les grands angles d'extinction y sont de beaucoup dominants.

[1] Le minéral des nodules d'Aphroëssa (Santorin) présente une biréfringence de 0,028; sa bissectrice est positive; il ne paraît pas assimilable à la wollastonite négative, non plus qu'un assez grand nombre d'autres wollastonites (Montenarba, Sardaigne).

III. Plan des axes dans g^1 (010), transversal à l'allongement.

La bissectrice négative n_p fait, dans l'angle obtus ph^1 (001) (100), un angle de 78° avec h^1g^1 (100) (010). Incolore en lame mince. Les couleurs de polarisation sont limpides et comme lavées. Dispersion inclinée.

$$(-)\ 2\ \mathbf{V} = 40°.$$
$$\mathbf{N} = 1{,}635.$$

$\mathbf{n_g} = 1{,}635$ (Oravitza, ML et Lx).
$\mathbf{n_m} = 1{,}633$ —
$\mathbf{n_p} = 1{,}621$ —

$$\mathbf{n} - \mathbf{n_p} = 0{,}014.$$

QUARTZ, CALCÉDOINE, OPALE, TRIDYMITE

SiO^2.

QUARTZ

Le quartz est caractérisé, en plaque mince, par son apparence vitreuse, son défaut de relief et de clivages, les abondantes inclusions liquides qu'il renferme en traînées irrégulières. Dans les plaques de bonne épaisseur, les couleurs de polarisation ne doivent pas dépasser les gris de premier ordre. Abondamment réparti dans toutes les roches, il y forme des plages sans contours cristallins (granites), des grains bipyramidés sans développement des faces du prisme (granulites, microgranulites, porphyres), ou même arrondis (schistes métamorphiques). Dans les pegmatites graphiques, les cristaux en trémies creuses s'influencent les uns les autres, et s'orientent parallèlement au milieu des plages de feldspath; les faces du prisme tendent alors à se développer et les cristaux s'allongent; c'est un passage aux quartz souvent très allongés des filons concrétionnés.

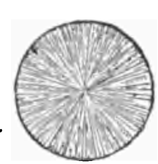


Fig. 169. Sphérolithe de calcédoine.

Les formes sphérolithiques sont habituelles au quartz et se lient à un état préalablement colloïde de la silice, avant sa cristallisation définitive; tantôt ces sphérolithes, primitivement radiés, ont subi une cristallisation postérieure qui en a orienté dans un sens unique les éléments; alors les sphérolithes sont dits à extinction totale (quartz globulaire); ils entourent souvent des grains brisés de quartz de première consolidation auquel ils ont servi pour ainsi dire de nourriture (porphyres à quartz globulaire, schistes micacés, grès à ciment siliceux). Tantôt, au contraire, ils restent encore mélangés de silice colloïde et les cristaux allongés

de quartz sont rangés parallèlement aux rayons du sphérolithe qui montre, entre les nicols croisés, une croix noire positive (calcédoine, porphyres pétrosiliceux, rhyolites).

Densité 2,6 à 2,7. Inattaquable aux acides, infusible, lentement attaquable par l'acide fluorhydrique.

I. Rhomboédrique. $a = 1$, $c = 1{,}100$; hémiédrie holoaxe ; en bipyramides $pe^{1/2}$ $(10\bar{1}1)$ $(01\bar{1}1)$, le profil est de 76° 26'.

$$pe^{2}\ (10\bar{1}1)\ (10\bar{1}0) = 141°\ 47'.$$

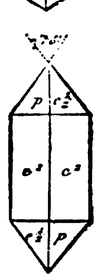


Fig. 170. — Profils du quartz.

Protoprisme e^2 $(10\bar{1}0)$, strié parallèlement à pe^2.

Les clivages p, $e^{1/2}$, e^2 ne se manifestent que par les alignements des files d'inclusions.

II. Macles ou associations par pénétrations irrégulières, les faces p d'un individu se trouvant sur le même plan que $e^{1/2}$ de l'autre. Macles rares suivant p et $(d^{1/2}d^{1/6}b^{1})$.

III. Un axe optique positif n_g.

RAIES du spectre.	n_g^o	n_p^o	
A	1,54812	1,53902	(Mascart.)
D	1,55338	1,54423	—
L	1,56974	1,56019	—
P	1,57822	1,56842	—
D	1,55328	1,54418	(Rudberg à 18° centigrades.)

Entre 0 et 100° centigrades, M. Dufet a trouvé que les variations des indices avec la température peuvent être représentées de la façon suivante à une unité près du sixième ordre pour l'indice calculé.

$$\frac{d\,n_g^o}{dt} = -\ 0{,}000\ 007\ 223 - 0{,}000\ 000\ 0037\ t.$$

$$\frac{d\,n_p^o}{dt} = -\ 0{,}000\ 006\ 248 - 0{,}000\ 000\ 0005\ t.$$

M. Offret a opéré entre 0 et 300° et trouvé que ces formules ne s'appliquent plus rigoureusement au delà de 100°.

$$n_g - n_p\ \text{(jaune)} = 0{,}0091.$$

OPALE

Composée de silice plus ou moins hydratée, parfois soluble dans une dissolution concentrée de potasse, l'opale est le type des corps colloïdes. Densité 2 à 2,3. Elément secondaire des roches acides dans lesquelles elle est associée à la tridymite (rhyolites, porphyres pétrosiliceux) ; remplissage des vacuoles de certaines roches basiques (mélaphyres, serpentines, etc.), produit de sources hydrothermales (geysers, etc.).

L'opale est généralement isotrope ; elle forme parfois des sphérolithes colloïdes, donnant la croix noire et à caractère négatif entre les nicols croisés.

Certaines variétés (hydrophane) retiennent par imbibition les solutions de fuchsine et en général de matières colorantes.

TRIDYMITE

La silice, cristallisée par voie de fusion ignée dans un fondant, affecte la forme de tridymite (V. Rath). On la trouve, associée à l'opale, dans la plupart des roches volcaniques acides (rhyolites, trachytes). Sa densité 2,3 est voisine de celle du quartz fondu.

I. Triclinique d'après V. Lasaulx[1] avec symétrie pseudo-rhom-

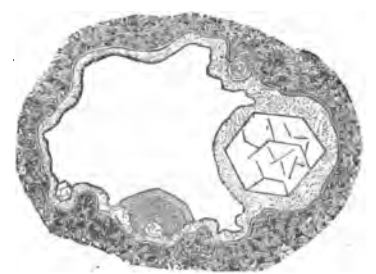


FIG. 171. — Tridymite dans une vacuole volcanique (Vélain).

bique et prisme voisin de 120°. $a = 0,581$, $b = 1$, $c = 1,104$, angles principaux à 90°. Tables hexagonales extraordinairement aplaties,

[1] VON LASAULX. *Zeitsch. f. Krystall.*, II, 253.

polarisant très faiblement quand elles sont couchées parallèlement à la plaque mince et montrant alors des groupements compliqués.

Les faces visibles sont *p* (001), *m* (1$\bar{1}$0), *t* (110) et parfois d'autres prismes dodécagonaux.

II. Associations complexes autour d'un axe pseudo-sénaire. Macles en forme de crête, rares dans les cristaux microscopiques, suivant deux faces de la zone *pm*. Lamelles imbriquées les unes sur les autres.

III. Bissectrice positive n_g sensiblement perpendiculaire à *p*; n_p coïnciderait à peu près avec la plus grande diagonale de la base.

$$(+)\ 2\ V = 38 \text{ à } 43^{\circ}.$$

D'après V. Lasaulx, on a :

$$n_m = 1{,}4285\ (?)$$
$$n_p = 1{,}4107\ (?)$$

La biréfringence de la tridymite artificielle, vue sur la tranche de ses lamelles, dépasse un peu celle du quartz.

La tridymite devient rigoureusement hexagonale ou rhomboédrique lorsqu'on la porte au rouge naissant (Mérian) [1].

RUTILE

TiO^2.

Densité 4,20 à 4,27.

Gisement dans les schistes métamorphiques, amphibolites (glaucophane), cipolins, etc. Inclusions dans les micas.

I. Quadratique. $a = 1$, $c = 0{,}911$; *m* (110), h^1 (100), h^2 (310), b^1 (112), a^1 (101); pb^1 (001) (112) = 147° 13', b^1b^1 (112) (1$\bar{1}$2) = 114° 26' [(sur *p* (001)], a^1a^1 (101) ($\bar{1}$01) sur *p* = 95° 20'. Prismes allongés suivant la zone positive *mm* (110) (1$\bar{1}$0). Macles fréquentes. Grilles

[1] Mérian. *Zeitsch. f. Krystall.*, X, 302.

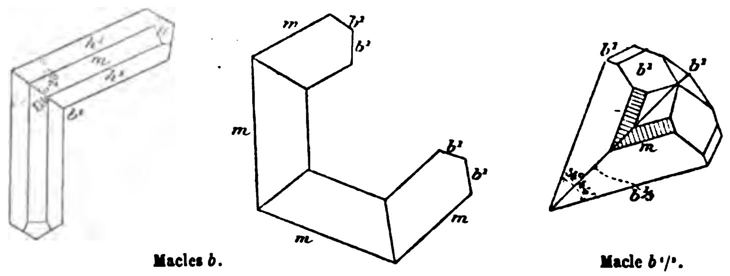
hexagonales (dans le mica) : longues aiguilles dans le quartz ; grains arrondis.

Clivages *m* (110), h^1 (100), très marqués dans les grands cristaux, invisibles dans les microlithes.

Jaune brun.

II. Macles très fréquentes et caractéristiques.

1° En genou, suivant b^1 (112) ; les arêtes *mm* (110) ($1\bar{1}0$) des deux cristaux font un angle de 114° 26'.



Macles b^1. Macle $b^{1/2}$.

Fig. 172. — Profils des sections *m*.

2° En cœur, suivant $b^{1/3}$ (332). Les arêtes verticales des deux cristaux font un angle de 54° 44'. Les cristaux offrant cette macle sont ordinairement raccourcis, aplatis suivant une face *m* (110) et présentent les combinaisons h^2 (310) dominant, *m* (110), b^1 (112).

Les sections minces montrent parfois la macle suivant b^1 (112), polysynthétique et noyée dans le cristal fondamental.

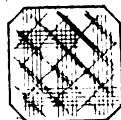


Fig. 173. Section *p*.

Il existe alors quatre séries de lamelles hémitropes suivant b^1 (112), entre-croisées, dont les superpositions, grâce à l'extrême biréfringence du rutile, ne produisent plus, même en lames minces, que des extinctions imparfaites.

M. Mallard explique les anomalies optiques du rutile en admettant que le réseau du rutile est en réalité monoclinique, à axe pseudo-quaternaire.

III. Double réfraction à un axe positif (+) n_g^e. Polychroïsme sensible.

$$n_g^e = \begin{cases} 2,8415 \text{ R. (Bauwald) jaune brun.} \\ 2,9029 \text{ J.} \\ 2,9817 \text{ B.} \end{cases}$$

$$n_p = \begin{cases} 2,5671 \text{ R.} & \text{jaune} \\ 2,6158 \text{ J.} \\ 2,6725. \text{ B.} \end{cases}$$

$$n_g - n_p = 0,2871.$$

Relief extrême, biréfringence telle que, même en plaque très mince, le rutile ne présente plus la polarisation chromatique. Les plus fins microlithes seuls se parent encore de couleurs. La distinction entre le rutile et la staurotide peut être basée sur ce seul caractère.

SAPHIRINE

$Mg^4 Al^{10} Si^2 O^{23}$.

Grains vitreux, bleuâtres, tabulaires, engagés dans un schiste amphibolique et micacé du Groënland, et moulés par les autres éléments de la roche. Densité 3,4 à 3,5. Infusible, inattaquable.

I. Monoclinique. Aplatissement marqué suivant g^1 (010); cassures très marquées à la façon de celles du pyroxène. Dans les sections perpendiculaires à n_g, ces cassures affectent quatre directions :

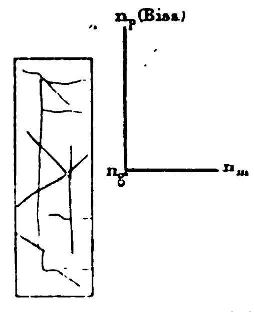


Fig. 174. — Section perpendiculaire à g^1.

parallèlement au plan d'aplatissement, perpendiculairement, et à 50°.

II. Indices de macles à face d'association parallèle au plan d'aplatissement g^1; dans les sections transversales, ces macles

s'éteignent presque simultanément; la zone apparente d'allongement est de signe variable.

III. Le plan des axes est parallèle à l'aplatissement g^1 ; la bissectrice est négative n_p, les axes optiques très écartés ; dispersion inclinée. Le relief et la réfringence sont voisins de ceux du pyroxène.

$$(-)\ 2\ H = 83 \text{ à } 84^\circ\ \rho < v.$$
$$n_g - n_p = 009.$$

Polychroïsme très faible en plaque mince : suivant n_g bleuâtre très pâle, suivant n_m et n_p incolore.

SERPENTINE

$H^4 (Mg, Fe)^3 Si^2 O^9$.

On comprend, sous le nom de serpentine, un certain nombre de produits d'altération des silicates magnésiens, dont les uns sont cristallins, les autres amorphes et en partie colloïdes. Densité 2,5 à 2,7.

Parmi les produits cristallins de la serpentine, les uns sont franchement fibreux (chrysotile), les autres sont feuilletés (bastite, antigorite).

M. Rosenbusch considère les premiers comme provenant exclusivement de la transformation du péridot et de l'amphibole ; les seconds seraient à attribuer au pyroxène et principalement à la famille de l'enstatite.

Les produits colloïdes sont fréquemment imprégnés d'opale (siliciophite de Schrauf).

Chrysotile. Fibres vert clair généralement très fines, parallèles à la bissectrice positive n_g. L'angle (+) 2V, très variable, ne dépasse pas 30°.

Parfois (métaxite) les fibres deviennent plus volumineuses. Parfois elles se groupent en sphérolithes elliptiques (picrolite), de révolution autour d'un axe.

Bastite. I. Le clivage g^1 (010) est absolument feuilleté et les

traces sont finement serrées ; on admet que les fibres (—) sont dirigées dans ce clivage suivant l'arête *mm* (110) ($1\bar{1}0$) du pyroxène primitif.

III. Le plan des axes est parallèle à h^1 (100) ; la bissectrice néga-

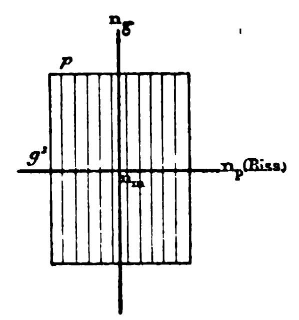


Fig. 175. — Section h^1.

tive n_p est perpendiculaire à g^1 (010), c'est-à-dire au clivage facile ; la dispersion donne $\rho > v$. Polychroïsme faible :

$$(-)\ 2V = 20 \text{ à } 90^\circ.$$

$n_g = 1,571$	(antigorite, ML et Lx),	verdâtre.
$n_m = 1,570$		vert plus pâle.
$n_p = 1,560.$		Id.

$$n_g - n_p = 0,011.$$

SILLIMANITE

$Al^2\ Si\ O^5$.

Densité 3,23 à 3,24. Dans la cordiérite, on trouve fréquemment des aiguilles de sillimanite d'une extrême ténuité. Son principal gisement est la granulite et surtout les gneiss, micaschistes et schistes ayant subi le métamorphisme de la granulite.

I. Orthorhombique. *mm* (110) ($1\bar{1}0$) = 111° ; g^3g^3 (230) ($2\bar{3}0$) = 91° 45'.

Clivage très facile suivant h^1 (100). Cassures transversales. Longues baguettes allongées suivant l'arête de la zone h^1g^1 (100) (010), positive.

II. Groupements suivant les faces du prisme, groupements et pénétrations intimes avec les cristaux d'andalousite, simulant des macles multiples et rappelant celles des feldspaths tricliniques. Les deux minéraux se distinguent facilement par leur biréfringence et leur signe d'allongement différent [1]. Houppes enchevêtrées dans la cordiérite.

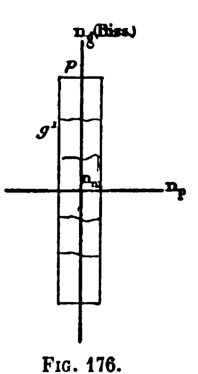


FIG. 176.
Section h^1.

III. Plan des axes optiques parallèle à h^1 (100). Bissectrice positive n_g perpendiculaire à p (001).

Dispersion considérable $\rho > v$. Couleurs de polarisation très limpides. Minéral incolore.

$$(+)\ 2V = \begin{cases} \text{rouge } 26° \\ \text{violet } 22°. \end{cases}$$

$n_g = 1680$. (Morlaix, ML et Lx.)
$n_m = 1,661$ —
$n_p = 1,659$ —
$n_g - n_p = 0,020$ à $0,022$. (ML, directement.)

GROUPE DES SPINELLIDES

MR^2O^4.

Le groupe des spinelles renferme un grand nombre de minéraux différents par la nature de R et de M.

MO	R^2O^3		Densité
Mg O	Al^2O^3.	Spinelle.	3,5 à 4,1.
Mg O, Fe O	Al^2O^3. Fe^2O^3.	Pléonaste	3,65.
Fe O	Al^2O^3	Hercynite	3,94.
Zn O	Al^2O^3.	Gahnite	4, à 4,6.
Fe O, Mg O	Cr^2O^3. Al^2O^3	Picotite	4,08.
Fe O, Mg O, Cr O	Cr^2O^3. Al^2O^3. Fe^2O^3.	Chromite	4,8.
Zn O, Fe O, Mn O	Fe^2O^3. Mn^2O^3.	Franklinite	5,51.
Fe O	Fe^2O^3.	Magnétite	4,9 à 5,2.

I. Cubiques. a^1 (111). Grains arrondis. Pas de clivages nets (clivage a^1 extrêmement difficile). En lames minces, incolore ou

[1] LACROIX. *Bull. Soc. Min.*, 1888, 150.

rosé (*spinelle*), jaune brun (*picotite*), brun foncé et quelquefois opaque (*chromite*, *franklinite*), vert foncé (*pléonaste*, *hercynite gahnite*), opaque (*magnétite*).

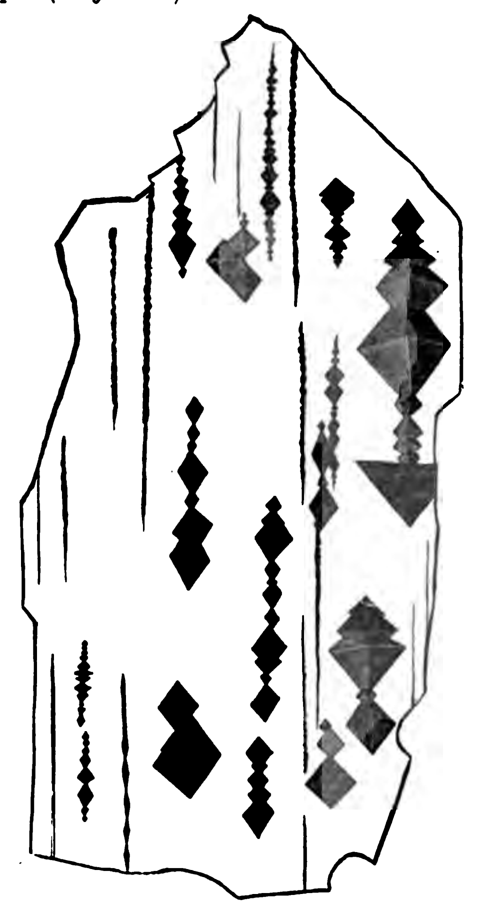


Fig. 177. — Fer oxydulé d'une roche volcanique (Vélain).

Extrêmement abondants dans la plupart des roches éruptives et métamorphiques, les spinelles paraissent s'être produits à tous les temps de consolidation. La picotite et le pléonaste sont surtout abondants dans les serpentines et les péridotites, et en très petits cristaux dans les roches à cordiérite.

II. Macles suivant a^1 (111).

III.	N = 2,096	Thoulet	Chromite par réflexion métallique.
	= 1,712 Dx	(R.)	Spinelle
	= 1,715	(J.)	—

SPHÈNE

Ca Si Ti O⁵.

Densité 3,3 à 3,7. Incomplètement attaquable par les acides.

Gisement dans les roches éruptives acides et métamorphiques basiques. Associé, comme produit secondaire (*leucoxène*), au fer titané, au rutile, à la pérowskite.

La *Keilhauite* (yttrotitanite) est un sphène riche en yttria (Norwège), possédant les formes et les propriétés optiques du sphène normal.

I. Monoclinique. $a = 0{,}755$, $b = 1$, $c = 0{,}854$, *mm* (110) $(1\bar{1}0)$ sur $h^1 = 113°\ 31'$, ph^1 (001) (100) $= 119°\ 43'$, h^1o^2 (100) (102) $=$ $140°\ 43'$.

La forme habituelle en toit du sphène des granites, des syénites,

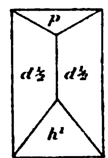


Fig. 178. — Sphène en toit des syénites.

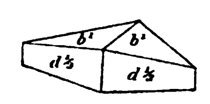


Fig. 179. — Sphène en fuseau des amphibolites.

des trachytes, est à rapporter aux faces $d^{1/2}d^{1/2}$ (111) $(1\bar{1}1) = 136°\ 12'$,

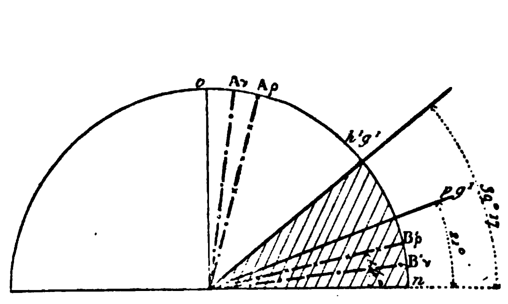


Fig. 180. — Position des arêtes de zone principales du sphène.

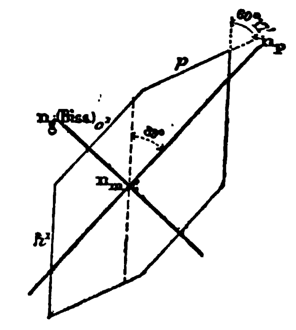


Fig. 181. — Section g^1.

p (001), h^1 (100). Dans les amphibolites, les cristaux de sphène

sont en fuseau à angles mousses $d^{1/2}$ (111), b^1 ($\bar{1}12$). L'angle b^1b^1 ($\bar{1}12$) ($\bar{1}\bar{1}2$) = 133° 52'.

II. Macles fréquentes suivant h^1 (100) avec axe de rotation perpendiculaire. Macles rares suivant p (001) et $a^{3/4}$ ($\bar{4}03$).

La zone de symétrie de la macle h^1, rapportée à la trace du plan d'assemblage, présente des extinctions variant de 0° à 39° (dans g^1); elle est négative.

III. Plan des axes optiques parallèle à g^1 (010). La bissectrice est positive n_g et perpendiculaire à o^2 (102); n_p fait un angle de 39° 17' avec l'arête h^1g^1 (100) (010) dans l'angle aigu ph^1 (001) (100).

Dispersion inclinée avec $\rho > \nu$.

La réfringence est très forte, et, d'après un travail récent de M. K. Burz, subit des variations inexpliquées avec les gisements. Le relief est très grand.

En lames minces et en lumière convergente, on aperçoit un grand nombre de lemniscates, grâce à la forte biréfringence du sphène.

En lumière polarisée parallèle, on observe un guillochage analogue à celui de la calcite, la plus minime variation d'épaisseur produisant des variations notables de couleur; polychroïsme faible.

(+) 2 V = 23° à 34° (Na) Karl Burz.

n_g = 2,0093[1]	rouge jaunâtre.
n_m = 1,8940	rouge verdâtre.
n_p = 1,8876	jaune pâle.

$n_g - n_p = 0,121$.

STAUROTIDE

$H^2M^3Al^{12}Si^6O^{34}$ M = 3 Fe + 1 Mg.

Densité 3,4 à 3,8. Inattaquable aux acides.

Gisement dans les schistes métamorphiques avec disthène, cordiérite, andalousite, etc.

I. Orthorhombique. a = 0,472, b = 1, c = 0,680, pour mm (110) ($1\bar{1}0$) = 129° 26', a^1 a^1 (101) ($\bar{1}01$) = 110° 28'.

[1] Moyennes d'après M. K. Burz.

Clivage peu marqué suivant g^1 (010), cassures m (110). Allongement marqué suivant h^1g^1; la zone est positive.

Inclusions charbonneuses; couleur jaune d'or en lame mince.

II. Macles en croix :

1° A angle droit; la face d'association est à peu près $e^{2/3}$ (032).

2° A 60° et en outre de façon que tout est symétrique par rapport au plan bissecteur de l'angle des faces $g^{1'}$ des deux cristaux maclés.

M. Mallard a proposé l'explication suivante de ces macles : il change les coordonnées de telle façon que

l'ancien a^1 (101)	devient	m (110)'	
p (001)		g^1 (010)'	
g^1 (010)		p (001)'	
h^1 (100)	reste	h^1 (100)	

Les nouveaux paramètres sont sensiblement $a' = 1$, $b' = \sqrt{2}$, $c' = \sqrt{2}$; a' est donc un axe pseudo-quaternaire, b' et c' sont deux axes binaires et le réseau pseudo-cubique.

On s'explique dès lors la macle en croix rectangulaire par rotation autour de a' (ancienne arête pg^1). Quant à la macle à 60°, elle proviendrait d'un axe pseudo-binaire sensiblement perpendiculaire au nouveau $b^{1/2}$ et incliné de 60° sur l'axe b' (ancienne arête h^1g^1).

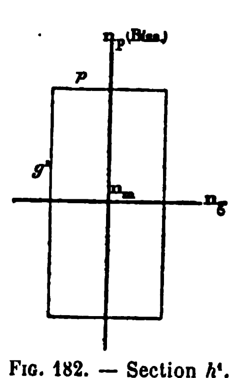


Fig. 182. — Section h^1.

III. Nous reprenons de nouveau les anciennes coordonnées; le plan des axes optiques est h^1 (100). La bissectrice est positive n_g et perpendiculaire à p (001); dispersion faible $\rho > v$.

Le polychroïsme est net, dans les mêmes teintes que les humites, mais suivant des indices différents :

$$(+)\ 2\,V = 88°.$$

$n_g = 1{,}746$ (Saint-Gothard, ML et Lx).			Jaune d'or
$n_m = 1{,}741$	—	1,752 (Miller).	Jaune pâle presque incolore.
	—	1,749 (Dx).	Id.
$n_p = 1{,}736$	—		

$$n_g - n = 0{,}012 \text{ (moyenne ML.).}$$



TALC

$H^2 Mg^3 Si^4 O^{12}$.

Densité 2,6 à 2,8.

Gisement dans les schistes métamorphiques ; produit secondaire des minéraux magnésiens.

I. Orthorhombique (avec forme pseudo-hexagonale). *mm* (110) $(1\bar{1}0)$ = 120° environ.

Clivage micacé suivant *p* (001), très difficile suivant *mm* (110) $(1\bar{1}0)$; les lames de clivage sont flexibles, mais non élastiques.

Le talc forme fréquemment des rosettes ou des sphérolithes dont les éléments simulent un allongement suivant la trace du clivage facile. Le signe de cet allongement apparent est toujours positif. Incolore en lames minces.

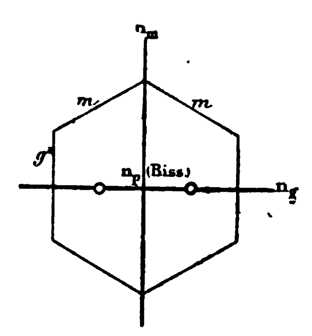


Fig. 183. — Section *p*.

III. Plan des axes optiques parallèle à h^1 (100). La bissectrice négative n_p est perpendiculaire à *p* (001).

$$(-)\ 2\,V = 7^\circ \text{ environ.}$$

$$N = 1,55$$

$$n_g - n_p = 0,035 \text{ à } 0,050 \text{ (ML).}$$

Le diagnostic avec les micas blancs à axes rapprochés doit être basé sur les réactions microchimiques très sensibles décelant l'absence ou la présence de l'alumine.

THAUMASITE[1]

$Ca\,Si\,O^3 + Ca\,CO^3 + Ca\,SO^4 + 14\,H^2O$.

Densité 1,877. Soluble dans les acides avec dégagement d'acide carbonique. Infusible.

Gisement : produit secondaire dans les fentes d'une éclogite de Suède.

I. Quadratique ou hexagonal. Fibres allongées suivant la zone prismatique, négative avec traces de clivages longitudinaux.

III. Double réfraction négative à un axe (—) n^{o}_{p}.

$$n_g^o = 1{,}507 \text{ (ML et Lx).}$$
$$n_p^o = 1{,}468$$
$$n_g - n_p = 0{,}039 \text{ par différence.}$$
$$= 0{,}040 \text{ (Lx) directement.}$$

La composition chimique de cette substance ne semble pas définitivement établie. M. Bertrand a cru pouvoir l'expliquer en admettant que la thaumasite était un mélange de calcite, de wollastonite et de gypse. M. Lacroix a fait voir que cette substance était bien réellement homogène et possédait des propriétés qui lui étaient propres. Les minéraux signalés par M. Bertrand ne peuvent se trouver dans la thaumasite qu'à l'état d'inclusions accidentelles et ne peuvent expliquer la composition complexe de ce minéral.

TOPAZE

$5\,Al^2\,Si\,O^5 + Al^2\,Si\,Fl^{10}$.

Densité 3,52 à 3,56. Une chaleur modérée détruit la topaze.

Gisement : granulites, filons d'étain.

[1] Nordenskiöld. *C. R* LXXXVII (1878), *Géol. Fœr., Fœrh.*, p. 314. — (1880), p. 270. Lindström. *Œfr. ak Stock.*, 1878. Bertrand. *Bull. Soc Min.*, III, p. 159. — IV, p. 8. A. Lacroix. *Geol. Fœr. Fœrh.* (1887), IX, 35.

I. Orthorhombique. $a = 0{,}529$, $b = 1$, $c = 0{,}954$. mm (110) ($1\bar{1}0$) = 124° 17'; e^1e^1 (011) ($0\bar{1}1$) = 92° 42' sur p.

Clivage très facile suivant p (001); imparfait suivant a^1 (101) et e^1 (011), traces suivant m (110) et g^3 (230); le **premier seul** est distinct dans les lames minces.

Allongement des cristaux suivant la zone h^1g^1 (100) (010) positive (*pycnite*).

Incolore en lames minces.

Inclusions liquides fréquentes : les liquides qu'elles renferment, étudiés par Brewster, ont été considérés longtemps comme de l'acide carbonique liquide; d'après M. A.-E. Nordenskiöld, ils seraient constitués par un carbure d'hydrogène. Ces inclusions liquides se volatilisent par la chaleur et renferment souvent des cristaux cubiques.

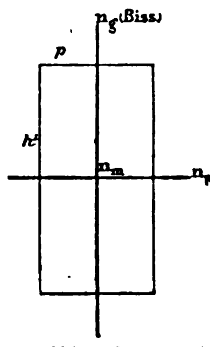


Fig. 184. — Section g^1.

I. Orthorhombique. Triclinique pseudo-rhombique d'après les anomalies optiques (Mallard); antihémiédrique, pyroélectrique.

III. Plan des axes optiques parallèle à g^1 (010). Bissectrice positive n_g perpendiculaire à p (001).

Dispersion notable $\rho > v$.

$$(+)\ 2\,\mathbf{V} = 62° \text{ environ.}$$
$$\mathbf{n}_g = 1{,}621 \text{ (D. Rudberg).}$$
$$\mathbf{n}_m = 1{,}613$$
$$\mathbf{n}_p = 1{,}611$$
$$\mathbf{n}_g - \mathbf{n}_p = 0{,}010 \text{ à } 0{,}014$$

TOURMALINE

$M^3 Al^4 B^2 Si^4 O^{20}$.

$M = H^2, K^2, Na^2, Li^2, Mg, Fe, Mn, Ca$.

Densité 3,02 à 3,020.

Gisement: granulites, roches métamorphiques.

I. Rhomboédrique. $a = 1$, $c = 0,447$, pp $(10\bar{1}1)$ $(0\bar{1}11) = 133°6'$ Formes antihémiédriques triangulaires, prismes et rhomboèdres (hémimorphisme); pyroélectrique.

Clivages imparfaits suivant p $(10\bar{1}1)$ et d^1 $(11\bar{2}0)$, ne se marquant pas en lames minces.

Allongement très marqué suivant la zone du prisme; sections perpendiculaires à l'axe, triangulaires ou hexagonales avec trois côtés inégalement développés. Pointements surbaissés.

En lames minces, les couleurs que présente le plus habituellement la tourmaline sont le brun violacé, le bleu et le noir plus ou moins foncés. On trouve fréquemment la structure zonée avec colorations variables.

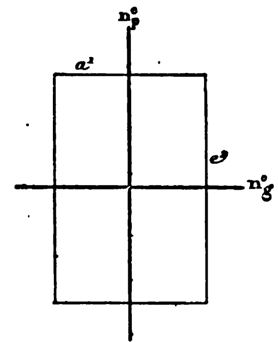


Fig. 185. — Section e^2.

II. Anomalies optiques analogues à celles de l'émeraude, ne se manifestant pas en lames très minces.

III. Double réfraction négative à un axe (—) n^e_p.

Polychroïsme très intense : son maximum a lieu suivant n_g ; on l'observe en plaçant l'allongement des cristaux normal à la plus courte diagonale du polariseur. L'inverse a lieu pour le mica noir. Auréoles polychroïques autour des zircons inclus.

$n^o_g = 1,643$ environ (moyenne) brun foncé, bleu.

$n^e_p = 1,623$ environ brun pâle, incolore.

$n_g - n_p = 0,020$ environ (oscille de 0,017 à 0,023).

VERMICULITE

Densité 2,75 à 2,83. Soluble dans l'acide chlorhydrique. Au chalumeau se tord et fond en un verre noir, en se boursouflant.

Gisement analogue à celui des chlorites. Composition chimique voisine de celle de la phlogopite.

I. Monoclinique, pseudo-hexagonal isomorphe avec les micas noirs.

Clivage facile suivant *p* (001), difficile avec rides suivant *mm* (110) ($1\bar{1}0$) et g^1 (010).

Couleur brune ou verte.

III. Plan des axes optiques perpendiculaire à g^1 (010). La bissectrice est négative n_p et sensiblement normale à *p* (001).

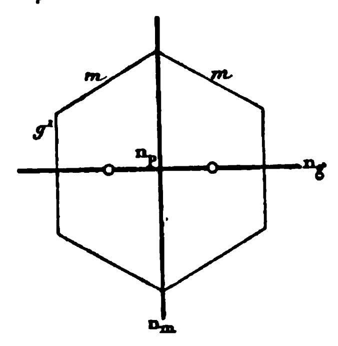


FIG. 186. — Section *p*.

Le polychroïsme est net dans les teintes brunes (vermiculite) ou vertes (vaalite).

$(-)\ 2\ E = 35°$.

n_g jaune brun foncé.
n_m jaune brunâtre.
n_p jaune brunâtre très pâle.

$n_g - n_p = 0{,}068$ (ML et Lx. Vermiculite des Descloyes, Saône-et-Loire).

Les vermiculites se rangent comme annexes de la chlorite : elles forment passage au groupe des micas ; d'après quelques auteurs, ce serait une phlogopite altérée.

VÖLKNÉRITE

(HYDROTALCITE, HOUGHITE)

$H^{10}\ Mg^3\ Al\ O^{10}$.

Densité 2,04 à 2.09. Soluble dans les acides.

Gisement : calcaires métamorphiques.

I. Hexagonal. Clivage p (0001) très net, donnant des lames toujours froissées et ondulées. Le microscope montre que la völknérite est constituée de fibres entrelacées, parfois en rosette à la façon du talc et de certaines séricites.

Les sections normales à p (0001) simulent un allongement suivant une zone perpendiculaire.

En lames minces la völknérite ressemble beaucoup à la brucite.

III. Double réfraction à un axe négatif (—) n^{e}_{p}. D'après M. des Cloizeaux, la völknérite de l'Oural est positive.

$$N = 1,47$$

$n_g - n_p = 0,014$ (hydrotalcite de Snarum) (ML et Lx).

La völknérite de l'Oural paraît un peu moins biréfringente.

WAGNÉRITE

$Mg^2\ Fl\ Ph\ O^4$.

Densité 2,98 à 3,06. Soluble dans les acides.

Gisement : granulites.

I. Monoclinique. $a = 0,957$, $b = 1$, $c = 0,753$, ph^1 (001) (100) $= 108°\ 7'$, mm (110) $(1\bar{1}0) = 95°\ 25'$.

Clivage g^3 (120) très difficile, ne se marquant pas en lames minces. Formes habituelles : masses compactes, incolores en lames minces.

III. Plan des axes optiques dans g^1 (010). Bissectrice positive n_g presque parallèle à h^1g^1 (100) (010). Dispersion ordinaire notable $\rho > v$ [1].

$$(+)\ 2\ V = 26°\ \text{environ.}$$

$n_g = 1,582$ Hafredal, près Bamle (Norwège) (ML et Lx).
$n_m = 1,570$
$n_p = 1,569$

$$n_g - n_p = 0,013$$

[1] Des Cloizeaux. 3e *mémoire optique*, p. 187.

WARWICKITE

$Mg^6 (B, Fe, Al)^6 Ti^2 O^{19}$.

Densité 3,35 à 3,42. La composition chimique n'est pas établie avec certitude à cause du grand nombre des inclusions de fer titané que renferme ce minéral.

I. Orthorhombique. *mm* (110) (1$\bar{1}$0) = 91° 20'. Cristaux, à arêtes toujours arrondies, allongées suivant h^1g^1 (100) (010). Clivage facile h^1 (100); cassures irrégulières abondantes. Inclusions fréquentes et épigénie en fer titané.

Les cristaux bruns foncés de warwickite sont disséminés dans le cipolin de Warwick (E. U).

III. Plan des axes optiques parallèle à g^1 (010)[1]. Bissectrice positive perpendiculaire à h^1 (100).

Fig. 187. — Section g^1.

Polychroïsme intense. Les indices principaux de réfraction n'ont pu être mesurés; ils se rapprochent de ceux du sphène. La warwickite se distingue de ce dernier minéral par sa plus faible biréfringence et son polychroïsme.

(+) 2 E = 62°.

n_g brun cannelle.

n_m brun rouge.

n_p brun jaune clair.

$n_g - n_p$ = 0,022 environ (Lx).

WAVELLITE

$3 Al^2 O^3, 2 Ph^2 O^5, 12 H^2 O$.

Densité 2,3 à 2,5. Soluble dans l'acide azotique. Gisement dans

[1] Lacroix. *Bull. Soc. Min.*, IX, 74, 1886.

les granulites avec amblygonite, dans les filons concrétionnés.

I. Orthorhombique. $a = 0{,}505$, $b = 1$, $c = 0{,}375$, mm (110) ($1\bar{1}0$) $= 126°\ 25'$. Clivages suivant m (110) et g^1 (010). Masses fibreuses ou sphérolithiques formées d'aiguilles allongées suivant la zone h^1g^1 (100) (010) positive. Les clivages sont souvent peu nets dans les sphérolithes.

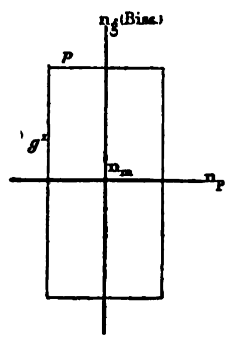


FIG. 188. — Section h^1.

Incolore en lames minces.

II. Comme dans toutes les substances fibreuses et sphérolithiques, on observe des extinctions moirées et irrégulières, dues à des superpositions de lames minces.

III. Plan des axes optiques parallèle à h^1 (100). Bissectrice positive n_g normale à p (001).

$(+)\ 2\,V = 50°$ environ, $\rho > v$.

$N = 1{,}526$

$n_g - n_p = 0{,}025$ (Lx).

GROUPE DES WERNÉRITES

$MO : \frac{1}{3}(Al^2O^3) : \frac{1}{2}(SiO^2) = 1 : 2 : 3$ à $1 : 2 : 6$.

M = Ca, Na. Densité croissant avec la teneur en chaux de 2,56 à 2,73. Traces de fluor et de chlore. Gisement dans les amphibolites, diorites et diabases (wernérite grenue) [1], dans les calcaires métamorphiques (prismes allongés). Le dipyre épigénise parfois le labrador.

I. Quadratique. $a = 1$, $c = 0{,}621$, a^1a^1 (101) ($\bar{1}01$) $= 116°\ 18'$ sur p. Prismes m (110), h^1 (100), p (001), a^1 (101). Clivages mm bien marqués, cassures h^1. Zone d'allongement négative mm avec extinctions à 0°.

III. Un axe optique négatif n'_p parallèle à mm.

[1] Le premier gisement de wernérite grenue a été découvert à Bamle. MICHEL LÉVY, *Bull. Soc. Min.*, 1878, 43 et 79.

La réfringence et la biréfringence croissent avec la teneur en chaux.

MÉIONITE

1 : 2 : 3.

M = Ca ; très peu de soude. Densité, 2,73 à 2,74.

$n_g°$ (rouge) = 1,594 à 1,597 (Dx).
$n_p°$ — = 1,558 à 1,561
$n_g - n_p$ = 0,036 (Vésuve, Dx) à 0,031 (chelmsfordite, ML et Lx).

PARANTHINE

1 : 2 : 4.

M = Ca, Na. — Ca : Na = de 1 : 4 à 1 : 2. Densité 2,68.

$n_g°$ (rouge) = 1,566 (Dx).
$n_p°$ — = 1,545
$n_g - n_p$ = 0,021 (Dx).
0,023 (Hereroland, ML et Lx).
0,024 (Glaucolite, Baïkal, ML et Lx).

DIPYRE

1 : 2 : 6.

M = Ca, Na. — Ca : Na = 1 : 1. Densité 2,62.

Le dipyre est grenu dans les diorites de Bamle, dans les pyroxénites de Saint-Nazaire[1], dans les diorites d'Algérie, etc. Il se présente en cristaux allongés et isolés dans les calcaires métamorphiques (Libarens, etc.).

$n_g°$ (rouge) = 1,558 (Dx).
$n_p°$ — = 1,543
$n_g - n_p$ = 0,015 (Dx).
0,015 (Saint-Nazaire, ML et L).
0,014 (Sierra de Penaflor, ML et Lx).
0,013 (Bamle, ML).
0,012 (Libarens, ML).

[1] Lacroix. *C. R.*, CIV, 1887, 1011.

WÖHLÉRITE

$(Ca, Na^2, Fe)^{12} Nb^2 (Si, Zr)^{12} O^{42}$

Densité 3,41. Attaquable par l'acide chlorhydrique avec résidu de silice et d'acide niobique. Fusible.

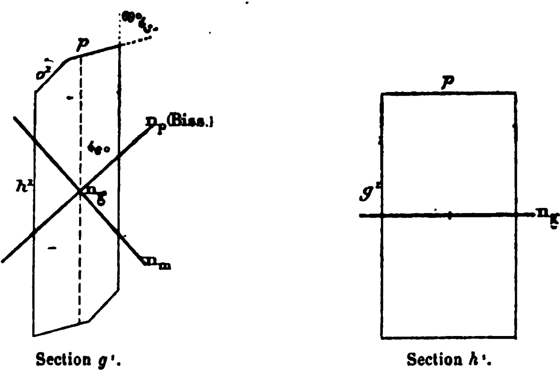
Gisement : syénite éléolitique.

I. Monoclinique[1]. $a = 1{,}055$, $b = 1$, $c = 0{,}709$, ph^1 (001) (100) = 109° 15', *mm* (110)(1$\bar{1}$0) sur h^1 (100) = 90° 14', po^1 (001) (101) = 152° 33'.

Tables à contours rectangulaires, aplaties suivant h^1 (100), allongées suivant l'arête h^1g^1 (100) (010).

Clivage assez net suivant g^1 (010), difficile suivant h^1 (100) et *m* (110).

La zone perpendiculaire à l'aplatissement h^1 (100), rapportée à



Section g^1. Section h^1.

Fig. 189.

l'allongement apparent suivant les traces du plan h^1 (100), présente des extinctions variant de 0° à 45°.

En lames minces, jaune clair et non polychroïque.

III. Plan des axes optiques normal à g^1 (010), presque parallèle à o^1 (101) : la bissextrice aiguë négative n_p est parallèle dans g^1 (010) à la trace de o^1 (101). Dispersion ordinaire $\rho < v$, très forte.

[1] Des Cloizeaux. *Ann. physiq. et chimie*, 4e série, t. XIII (1868), p. 425.

(—) 2 V = 72 à 77° (rouge) (Dx).

n_g = 1,726 (Langesundjord. ML et Lx).
n_m = 1,716 — — 1,72 moyenne (Dx).
n_p = 1,700

$n_g - n_p = 0,026$

Les plages de wöhlérite sont toujours d'assez grande taille ; la couleur jaune, le relief sensible, les cassures irrégulières constituent un aspect caractéristique de la wöhlérite.

ZÉOLITES

Les zéolites sont des silicates hydratés à base de potasse, de soude, de chaux, de baryte et de strontiane, avec ou sans alumine, qui apparaissent comme produits secondaires, dans un grand nombre de roches volcaniques et éruptives, en druses et en épigénies. Les sources thermales en déposent encore actuellement (Daubrée). Toutes les zéolites sont incolores en lame mince.

Zéolites avec alumine; *soude :* analcime, natrolite (mésotype).

Chaux: chabasie, épistilbite, heulandite, laumonite, lévyne, prehnite, scolésite, stilbite.

Baryte : harmotome, brewstérite.

Soude et potasse : herschélite.

Soude et chaux : gmélinite, mésolite, thomsonite (mésole).

Potasse et chaux : apophyllite, christianite, gismondine.

Zéolites sans alumine : *chaux;* okénite.

Chaux et soude : pectolite.

L'attaque par l'acide chlorhydrique produit des résultats variables.

Attaque facile avec production de silice gélatineuse : mésotype, scolézite, mésolite, laumonite, christianite, chabasie, lévyne, herschelite, gmélinite, gismondine.

Attaque facile avec production de silice pulvérulente : pectolite, okénite, épistillite, stilbite, heulandite, harmotome, brewstérite, apophyllite.

Attaque difficile : prehnite.

Au point de vue du diagnostic basé sur les méthodes optiques[1], les zéolites se répartissent entre tous les systèmes cristallins; celles qui possèdent un axe apparent de symétrie supérieure à

[1] Lacroix. *Bull. Soc. Min.*, 1885, 321.

la symétrie binaire (*analcime* pseudo-cubique, *apophyllite et gismondine* pseudo-quadratiques, *chabasie et lévyne* pseudo-rhomboédriques) ne présentent pas de zone d'allongement ou d'aplatissement bien marquée. Les autres zéolites offrent au contraire ce moyen d'investigation ; elles se rangent en grand nombre dans le système monoclinique. Toutes présentent des anomalies optiques et des groupements complexes par pénétration, variables avec la température et la quantité d'eau incluse dans le minéral.

Les tableaux suivants faciliteront la reconnaissance des zéolites contenues dans les plaques minces.

I. **Zéolites sans allongement apparent.**

Analcime pseudo-cubique ; groupement par pénétration de vingt-quatre pyramides orthorhombiques. Biréfringence très faible, à peine appréciable en plaque mince.

Apophyllite pseudo-quadratique ; en dés divisés en secteurs ; biréfringence à peine appréciable ; un axe positif.

Gismondine pseudo-quadratrique ; en octaèdres surbaissés à deux axes optiques. Biréfringence 0,008 voisine de celle du quartz.

Chabasie et *gmélinite* pseudo-rhomboédriques, négatives, à biréfringence faible (0,003 et 0,002).

Lévyne et *Herschélite* pseudo-hexagonales à biréfringence très faible.

Eudnophite pseudo-hexagonale ; biréfringence 0,004.

II. **Zéolites présentant une zone d'allongement ou d'aplatissement apparente.**

1° Les seules zéolites donnant en plaque mince une apparence de relief sensible, sont les suivantes ; ce sont celles (l'okénite excepté) dont la biréfringence est la plus élevée.

Okénite	$N = 1,556$	$n_g - n_p = 0,009$	zone d'allongement $+ 0°$.
Pectolite	1,61	0,038	$+ 0°$.
Prehnite	1,62	0,033	$- 0°$.

2° Les autres zéolites ne présentent aucun relief ; l'une d'elles se distingue immédiatement de toutes les autres par sa forte biréfringence ; c'est la *thomsonite* ; n_g-$n_p = 0,027$; zone d'allongement $\pm 0°$.

On peut distinguer à première vue, dans le reste de la série, les zéolites dont la *biréfringence* se rapproche de celle du quartz, et celles qui polarisent plus faiblement.

3° *Zéolites à biréfringence voisine de celle du quartz.* Celles dont la zone d'allongement est positive sont les suivantes :

A)	Natrolite	$n_g - n_p = 0{,}009$	zone d'allongement	+ 0°.
	Okénite	0,009		+ 0°.
	Epistilbite	0,010		+ 9°.
	Laumonite	0,012		+ 45°.

Voici celles dont la zone d'allongement est négative :

B)	Stilbite	$n_g - n_p = 0{,}009$	zone d'allongement	— 8°.
	Mésolite	0,008		— 9°.
	Scolésite	0,008		— 22°.
	Brewstérite	0,012		— 22°.

4° *Zéolites à biréfringence très faible.*

Christianite	$n_g - n_p = 0{,}003$	zone d'allongement	+ 15° à 30°.
Heulandite	0,006		— 0°.
Harmotome	faible		± 45°.

ANALCIME

Na Al $Si^2 O^6$ + Aq.

Densité 2, 22 à 2, 29.

I. Pseudo-cubique. a^2 (211), p (001). Sections souvent octogonales, fendillées, parfois dégénérescence fibreuse à fibres positives.

Clivage p (001) assez net.

L'analcime épigénise fréquemment la néphéline.

II. Anomalies optiques[1] très fréquentes et souvent visibles en lames minces.

M. Mallard suppose un groupement de six pyramides quadra-

[1] MALLARD. *Anomalies optiques*, 57, 1876.
V. LASAULX. *Zeitsch. f. Krystall.*, V, 330, 181.
AZRUNI et KOCH. — V, 483, 1881.
BEN SAUDE. — VII, 104, 1883.
KLEIN. *N. Jahrb.*, I, 250, 1884.

tiques s'appuyant sur les bases p (001). Chacune de ces pyramides se diviserait en outre, suivant les diagonales de p (001) en quatre pyramides orthorhombiques ayant pour axe pseudo-quaternaire l'axe quaternaire du cube perpendiculaire à p (001).

L'école allemande (MM. Klein, Ben-Saude) conclut à des phénomènes de compression. Les anomalies optiques s'exagéreraient par calcination sèche et persisteraient, d'après les expériences de MM. Mérian et Klein. Au contraire, elles s'atténueraient par élévation de température au sein de l'eau ou de la vapeur d'eau, mais sans persister.

III. Les sections parallèles aux faces p (001) paraissent d'abord s'expliquer par l'existence de six pyramides quadratiques à base

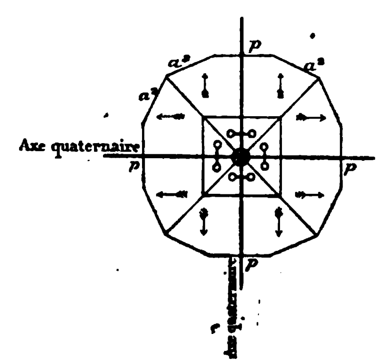


Fig. 190. — Section p.

p (001), à un axe négatif perpendiculaire à p (001). Mais un examen attentif a montré à M. Mallard que chacune de ces pyramides se décompose en quatre pyramides orthorhombiques ayant leurs bissectrices négatives parallèles à l'axe quaternaire du cube perpendiculaire à p (001), et le plan de leurs axes optiques respectivement parallèle aux côtés de la face p (001).

M. Ben Saude a signalé, dans des cristaux où les faces a^2 (211) étaient très développées, l'existence de vingt-quatre pyramides ayant ces faces pour bases : il en conclut que la forme extérieure agit sur la structure intime de l'analcime.

On observe souvent des plages en partie isotropes.

$$(-)\ 2\,V = \text{très petit.}$$
$$N\ (\text{rouge}) = 1{,}4874\ \ (\text{Dx}).$$
$$n_g - n_p = 0{,}001$$

APOPHYLLITE

$4\,(H^2Ca\,Si^2O^6 + Aq) + K\,Fl$.

Densité 2, 35 à 2, 39.

I. Pseudo-quadratique, $a = 1$, $c = 1,770$; m (110), a^1 (101), p (001). Clivage p (001) parfait, cassures suivant m (110); $pa^1 = 119°\ 28'$.

II. Groupement complexe par pénétration correspondant, dans la combinaison la plus simple, à deux cristaux orthorhombiques accolés suivant une face m (110) (Mallard).

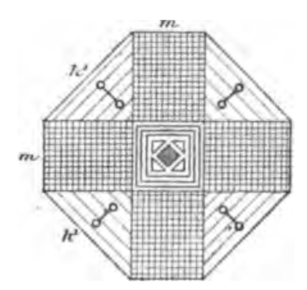


Fig. 191. — Section *p*.

On observe souvent suivant les sections p (001) quatre secteurs périphériques triangulaires à bases ph^1, s'éteignant suivant la trace h^1 (100) et se touchant suivant des zones constamment éteintes[1].

III. Les cristaux orthorhombiques composants ont le plan de leurs axes optiques parallèle à h^1 (100). Bissectrice aiguë positive (ou quelquefois négative) perpendiculaire à p (001).

Les plages constamment éteintes (centre et contact des secteurs) dans les sections p (001) présentent généralement un seul axe optique positif. L'extinction n'est pas cependant absolue, et elles montrent des lamelles hémitropes parallèles à mm (110) ($1\bar{1}0$),

[1] Mallard. *Anomalies optiques*, 1876.
Rumpf. *Zeitsch. f. Krystall.*, V, 374, 1881.
Klocke. — VI, 417, 1882.
Klein. — IX, 45 et 301, 1886.

s'éteignant les unes suivant h^1 (100), les autres suivant m (110).

$$(\pm)\ 2\ \mathbf{E} = 0 \text{ à } 30°.$$
$$\mathbf{n_g}^{\circ} = 1{,}5331 \quad \text{(Dx)}.$$
$$\mathbf{n_p}^{\circ} = 1{,}5317$$
$$\mathbf{n_g} - \mathbf{n_p} = 0{,}0014$$

BREWSTÉRITE

$$\mathbf{H^4\ M\ Al^2\ Si^6\ O^{18} + 3\ Aq.}$$

$$\mathbf{M = \tfrac{4}{7}\ Sr + \tfrac{2}{7}\ Ba + \tfrac{1}{7}\ Ca.}$$

Densité 2,12 à 2,20.

I. Monoclinique. $a = 0{,}405$, $b = 1$, $c = 0{,}883$, mm (110) (1$\bar{1}$0) $= 136°$, ph^1 (001) (100) $= 93°\ 4'$.

Clivage parfait suivant g^1 (010) ; difficile suivant h^1 (100).

Zone d'allongement h^1g^1 (100) (010) négative. Angle maximum d'extinction dans g^1 (010) = 21 à 23°.

II. Groupements parfois complexes, visibles dans les lames de clivage g^1 (010), décomposables en trois secteurs cunéiformes (Dx).

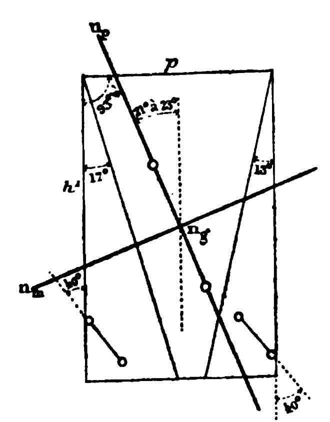


Fig. 192. — Section g^1.

III. Plan des axes optiques perpendiculaire à g^1 (010). La bissectrice est positive (+) n_g, et perpendiculaire à g^1 (010) ; la normale optique n_p fait avec h^1 (100) antérieur un angle de 21 à 23°

dans le secteur médian, et de 40° dans les deux autres secteurs.

$$(+)\ 2\,V = 65^\circ$$
$$N = 1{,}45$$
$$n_g - n_p = 0{,}012 \quad (Lx).$$

CHABASIE

$$H^2\,Ca\,Al^2\,Si^5\,O^{15} + 6\,Aq.$$

Densité 2,08 à 2,17.

I. Rhomboédrique. $a = 1$, $c = 0{,}836$, $pp\,(10\bar{1}1)\,(\bar{1}101) = 94°\,46'$. Clivages nets suivant p $(10\bar{1}1)$, donnant lieu à des tables en losanges de 94° 24'. Pas d'allongement.

II. Macle rare suivant p $(10\bar{1}1)$ par rotation de 180° autour d'un axe perpendiculaire.

Groupements constants analysés de la façon suivante par M. Becke[1] : chaque rhomboèdre de chabasie consiste en six indi-

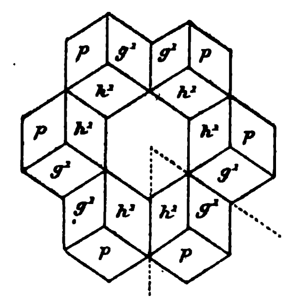


Fig. 193. — Type I.

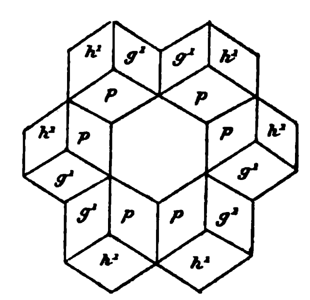


Fig. 194. — Type II.

vidus tricliniques : chacun d'eux est clivable suivant trois plans correspondants aux clivages du rhomboèdre résultant. Ces plans sont choisis pour les faces p (001), h^1 (100) et g^1 (010) des cristaux tricliniques composants.

Ces derniers sont maclés deux par deux suivant les faces m $(1\bar{1}0)$ et e^1 $(01\bar{1})$ faisant entre elles un angle de 118° 5'.

La chabasie peut présenter trois constructions différentes au point de vue optique, suivant que chaque individu triclinique

[1] Becke. *Tsch. min. petr. Mittheil.*, II, 39, 1879.

tourne vers l'intérieur les faces p (001) (type I), h^1 (100) (type II), ou g^1 (010) : ce dernier type est très rare.

III. Double réfraction à un axe négatif (—) n_p dans le rhomboèdre résultant.

Sur a^1 (0001) du rhomboèdre résultant, les anomalies optiques se traduisent par une division en six secteurs, s'éteignant deux à deux symétriquement par rapport à la ligne de macle, suivant la trace du plan des axes optiques dont la bissectrice négative n_p est à peu près perpendiculaire à la section.

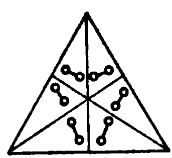


Fig. 195. — Type I, section a^1.

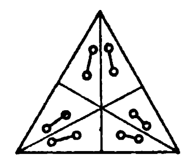


Fig. 196. — Type II, section a^1.

Sur les faces p $(10\bar{1}\bar{1})$ du rhomboèdre primitif, on constate seulement l'existence de deux plages maclées suivant la courte diagonale du losange et s'éteignant symétriquement.

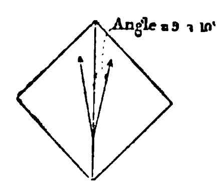


Fig. 197. — Type I, section p.

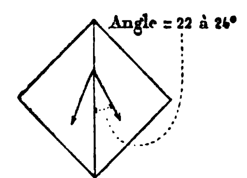


Fig. 198. — Type II, section p.

$$N = 1{,}50$$
$$n_g - n_p = 0{,}0028$$

CHRISTIANITE

$(Ca, K^2) Al^2 Si^4 O^{12} + 4 Aq.$

Densité 2,17 à 2,20.

I. Monoclinique. $a = 0{,}709$, $b = 1$, $c = 1{,}256$, ph^1 (001) (100) $= 124° 26'$. Clivages p (001) et g (010).

Zone d'allongement positive pg^1 (001) (010). Angle maximum

d'extinction dans g^1 (010) variable de 15° à 30° suivant les gisements.

Parfois sphérolithes à fibres positives pg^1 (001) (010).

II. Macles fréquentes sans angles rentrants suivant p (001), suivant g^1 (010), simulant un cristal orthorhombique : en plaques minces, ces macles sont souvent accompagnées de pénétrations cunéiformes rappelant celles de l'épistillite.

Macles en croix (Streng, Trippke, Frésenius) analogues à celles de l'harmotome suivant une face ondulée e^1 (011) avec p (001) ou

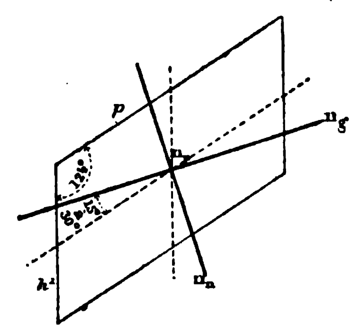


Fig. 199. — Section g^1.

g^1 (010) développés à l'extérieur : les angles *mm* sont rentrants (p) ou sortants (g^1).

Dans les sphérolithes les macles perdent toute régularité.

III. Plan des axes optiques perpendiculaire à g^1 (010). La bissectrice positive n_g est dans g^1 (010), et fait avec p (001), dans l'angle obtus ph^1 (001) (100), un angle de 15 à 30° (Dx)[1].

$$(+)\ 2\ V = 62 \text{ à } 80°.$$
$$n_m = 1{,}51 \text{ à } 1{,}57 \quad (Dx).$$
$$n_g - n_p = 0{,}003 \quad (Lx).$$

ÉPISTILBITE

$H^4\ Ca\ Al^2\ Si^6\ O^{18} + 3\ Aq.$

Densité 2,249.

I. Monoclinique. $a = 0{,}413$, $b = 1$, $c = 0{,}870$, *mm* (110) ($1\bar{1}0$) $= 135°\ 10'$, ph^1 (001) (100) $= 90°$.

[1] Des Cloizeaux. *Bull. Soc. Min.*, VI, 305, 1883 et VII, 135, 1884.

Clivage très facile suivant g^1 (010). Cassures suivant p (001).

Zone d'allongement mm (110) ($1\bar{1}0$) positive, angle maximum d'extinction sur g^1 (010) égal à 9°.

II. Macles suivant h^1 (100) avec pénétrations irrégulières d'un système de bandes hémitropes dans l'autre, produisant des dentelures et des coins.

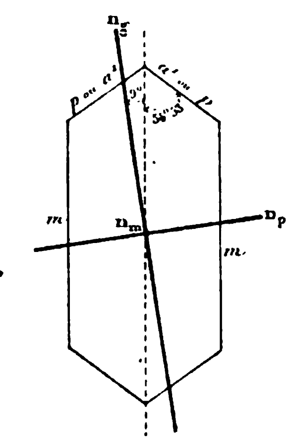


Fig. 200. — Section g^1.

III. Plan des axes optiques parallèle à g^1 (010). La bissectrice est négative n_p et fait avec l'arête mm (110) ($1\bar{1}0$) un angle de 81°.

La normale optique n_g est donc à 9° de cette arête mm (110) ($1\bar{1}0$) (Dx)[1].

$$(-)\ 2\,\mathbf{V} = 44° \quad \rho < v \text{ faible.}$$

$$\mathbf{n_g} = 1{,}512 \quad \text{(Dx).}$$
$$\mathbf{n_m} = 1{,}510 \quad \text{(rouge).}$$
$$\mathbf{n_p} = 1{,}502$$
$$\mathbf{n_g} - \mathbf{n_p} = 0{,}010 \quad \text{(Lx).}$$

EUDNOPHITE

Composition voisine de celle de l'analcime. Densité 2,27. Fusible, attaquable en faisant gelée. Gisement dans la syénite de Brevig (Norwège), à l'état secondaire.

[1] Des Cloizeaux. *Bull. Soc. Min.*, I, 161, 1879.

I. Orthorhombique, pseudo-hexagonal. $a = 0,577$, $b = 1$, $c = 0,640$, mm (110) $(1\bar{1}0) = 120°$, ma^1 (110) (101) = 130°. Clivage très facile p (001), faciles h^1 (100), g^1 (010); granules et prismes à six faces.

II. Groupement par pénétration, visibles dans les lames de clivages, présentant une structure quadrillée.

III. Les sections p (001) sont perpendiculaires à une bissectrice négative (—) n_p ; dans une des séries de lamelles hémitropes, le plan des axes assez écartés est parallèle à un des clivages h^1, g^1, avec $\rho > \nu$; dans l'autre série le plan des axes est parallèle à l'autre clivage avec $\rho < \nu$ (Dx) [1].

La chaleur rapproche les axes et les fait tous passer vers 75° centigrades dans la direction où l'on a $\rho < \nu$ autour de n_p.

$$(-)\ 2\mathbf{V} = 45° \text{ environ.}$$
$$\mathbf{N} = 1,49$$
$$\mathbf{n_g} - \mathbf{n_p} = 0,004$$

GISMONDINE

$Ca\,Al^2\,Si^2\,O^8 + 4\,Aq.$

Densité 2,265.

I. Pseudo-quadratique. $b^1.b^1$ (112) (112) sur p (001) = 92° 30'. Octaèdres presque réguliers.

En réalité orthorhombique ou monoclinique (Dx). Deux faces b^1 (112) opposées sur la base deviennent alors deux faces mm [(110) $(1\bar{1}0)$].

II. Groupement par association de deux prismes orthorhombiques ou monocliniques se pénétrant en croix. Les sections parallèles à p (001) montrent ainsi quatre secteurs triangulaires correspondant à deux individus se pénétrant.

Deux secteurs opposés ne se touchent pas toujours par le sommet ; de plus ils présentent de fines lamelles hémitropes encore mal étudiées.

[1] Des Cloizeaux. *Bull. Soc. Min.*, VII, 78, 1884.

III. Le plan des axes optiques est parallèle à [g^1 (010)], ancien p (001) de l'octaèdre; n_p est à peu près parallèle à l'arête b^1b^1 (112) ($\bar{1}\bar{1}2$), ou [mm (110) ($1\bar{1}0$)]; n_g à peu près perpendiculaire;

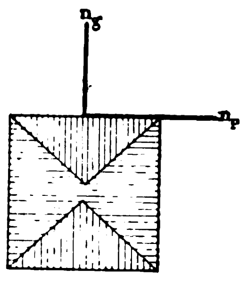


Fig. 201. — Section p de l'octaèdre.

n_m coïncide en direction avec l'ancien axe quaternaire ou pseudo-quaternaire.

La bissectrice paraît positive (n_g) (Dx) [1].

$$(+)2\,\mathbf{V} = 40^\circ \text{ env.}$$
$$\mathbf{N} = 1{,}52$$
$$\mathbf{n_g} - \mathbf{n_p} = 0{,}008 \quad \text{(Lx)}.$$

GMÉLINITE

$(Na^2, Ca)\,Al^2\,Si^4\,O^{12} + 6\,Aq$.

Densité 2,04 à 2,12.

I. Rhomboédrique, $a = 1$, $c = 0{,}725$, pp $(10\bar{1}1)$ $(\bar{1}011)$ $= 112^\circ\ 10'$. Cristaux sans allongement déterminé, a^1 (0001), p $(10\bar{1}1)$, $e^{1/2}$ $(01\bar{1}1)$, e^2 $(10\bar{1}0)$, tables hexagonales aplaties suivant a^1 (0001).

Les sections minces de gmélinite sont en général très fendillées.

II. Groupements par pénétration d'individus de symétrie inférieure à la symétrie ternaire, analogues à ceux de la chabasie (M. Becke), mais mal étudiés jusqu'à présent.

III. Double réfraction très faible à un axe tantôt positif n_g, tan-

[1] Des Cloizeaux. *Bull. Soc. Min.*, VI, 301, 1883 et VII, 135, 1884.

tôt négatif n_p. Parfois les plages biréfringentes sont disséminées au milieu de plages isotropes.

$$N = 1{,}48$$
$$n_g - n_p = 0{,}001 \quad (Lx).$$

HARMOTOME

$Ba\,Al^2\,Si^5\,O^{14} + 5\,Aq.$

Densité 2,447 à 2,498.

I. Monoclinique[1]. $a = 0{,}703$, $b = 1$, $c = 1{,}231$. Isomorphe avec la christianite; mm (110) $(1\bar{1}0) = 120°\,1'$, ph^1 (001)(100) = 124° 50', pa^1 (001) $(\bar{1}01) = 90°$; clivages g^1 (010) et p (001).

Allongement suivant la zone pg^1 (001) (010), tantôt positive,

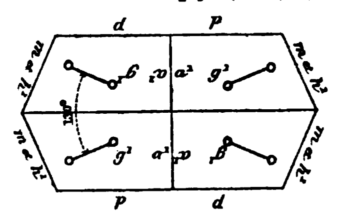


FIG. 202. — Section g^1.

tantôt négative : angle d'extinction maximum atteignant 45°.

II. Macles simples par pénétration de deux cristaux se touchant suivant p (001) et a^1 $(\bar{1}01)$.

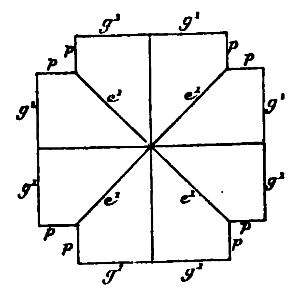


FIG. 203. — Section a^1.

Macles en croix : quatre des assemblages précédents se juxtaposent suivant e^1 (011).

[1] DES CLOIZEAUX. *Mémoires Soc. Min.* Saint-Pétersbourg, 1868, III.

III. Le plan des axes optiques est perpendiculaire à g^1 (010) ainsi que la bissectrice qui est positive (n_g). La normale optique n_p fait avec p (001), dans l'angle pa^1 (001) ($\bar{1}01$), un angle de 25°.

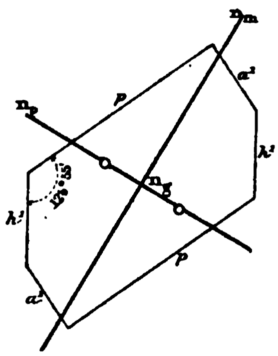


FIG. 204. — Section g^1.

Dans les sections suivant g^1 (010) des macles simples, les quatre secteurs s'éteignent deux à deux à 50° les uns des autres.

$$(+)\ 2\,V = 43° \quad (Dx).$$

$n_g = 1{,}508$ (Strontian, ML et Lx).
$n_m = 1{,}506$ (?) — $= 1{,}516$ (Dx).
$n_p = 1{,}503$ —

$$n_g - n_p = 0{,}005$$

HERSCHÉLITE

$M\,Al^2\,Si^4\,O^{12} + 5\,Aq \qquad M = Na^2, K^2, Ca.$

Densité 2.06.

I. Monoclinique (pseudo-hexagonal). Tables hexagonales aplaties terminées par une pyramide très surbaissée.

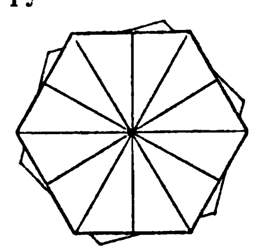


FIG. 205. — Section p.

Clivage basal net. Aplatissement suivant p (001). La zone

perpendiculaire à l'aplatissement (trace du clivage facile) est toujours positive n_g.

II. Les sections parallèles au clivage facile sont hexagonales et montrent une division en douze secteurs triangulaires[1].

Chacun de ces secteurs est constitué par un triangle rectangle. Les empilements hexagonaux ne se correspondent pas exactement.

III. Le centre des empilements laisse percevoir un axe optique négatif : les bords des secteurs s'éteignent à 8° de la normale au côté de l'hexagone. Le plan des axes optiques serait à peu près perpendiculaire aux côtés du dodécagone.

$$(-)\ 2\,\mathbf{V} = 0 \text{ à } 18°.$$
$$\mathbf{N} = 1{,}46$$
$$\mathbf{n}_g - \mathbf{n}_p = 0{,}002$$

HEULANDITE

$Ca\,Al^2\,Si^6\,O^{16} + 5\,Aq.$

Densité 2,18 à 2,22.

I. Monoclinique. $a = 0{,}396$, $b = 1$, $c = 0{,}470$, *mm* (110) (1$\bar{1}$0) = 136° 4'. La forme est voisine de la forme orthorhombique et *ph*¹ (001) (100) est presque un angle droit (91° 25').

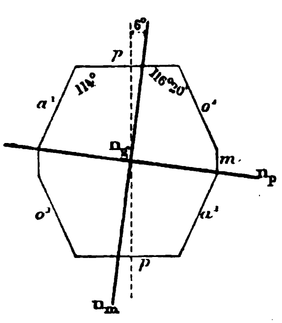


Fig. 206. — Heulandite non déformée. Section g^1.

Clivage facile suivant g^1 (010). Aplatissement suivant le clivage facile.

La zone perpendiculaire à l'aplatissement ou parallèle à *ph*¹ (001) (100) s'éteint toujours suivant la trace du clivage facile. Elle est négative.

II. Macles suivant h^1 (100), visibles sur *p* (001) et g^1 (010). La zone symétrique de la macle donne, entre les deux séries de lamelles hémitropes, un angle maximum d'extinction de 12°. Dans les heulandites non déformées, cette zone est négative.

[1] V. Lasaulx. *Zeitsch. f. Krystall.*, V, 339.
Becke. *Tsch. min. petr. Mitth.*, 1879, 391.

III. Plan des axes optiques presque parallèle à p (001). Bissectrice positive n_g perpendiculaire à g^1 (010).

En chauffant la heulandite, n_p et n_m changent réciproquement de position (Dx., Mallard)[1].

(+) 2 V = très variable de 0° à 60° environ.

$\mathbf{n_g} = 1{,}505$ (Feroë, ML et Lx).
$\mathbf{n_m} = 1{,}499$ —
$\mathbf{n_p} = 1{,}498$ —

$\mathbf{n_g} - \mathbf{n_p} = 0{,}007$

LAUMONITE

$H^4 Ca Al^2 Si^4 O^{14} + 2 Aq.$

Densité 2,28 à 2,41.

I. Monoclinique. $a = 1{,}145$, $b = 1$, $c = 1{,}181$. mm (110) ($1\bar{1}0$) = 86° 16', ph^1 (001) (100) = 111° 14'.

Clivage facile suivant g^1 (010), difficile suivant h^1 (100), a^1 ($\bar{1}01$).

Zone d'allongement h^1g^1 (100) (010) ; angle maximum d'extinction voisine de 45° ; zone positive.

Les plages de laumonite sont souvent partiellement isotropes par suite d'altérations.

II. Macle suivant h^1 (100).

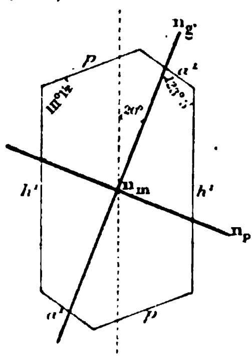


Fig. 207. — Section g^1.

III. Plan des axes optiques parallèle à g^1 (010).. bissectrice

[1] Mallard. *Bull. Soc. Min.*, VI, 301, 1883.

négative (—) n_p. L'axe n_g fait avec h^1 (100), dans l'angle ph^1 (001) (100) obtus, un angle de 20°.

$$(-)\ 2\,V = 30°$$

$n_g = 1,525$ (Huelgoat. ML et Lx).
$n_m = 1,524$ —
$n_p = 1,513$ —

$$n_g - n_p = 0,012$$

LÉVYNE

$Ca\ Al^2\ Si^3\ O^{10} + 5\ Aq.$

Densité 2,1 à 2,2.

I. Rhomboédrique. $a = 1$, $c = 0,836$, pp $(10\bar{1}1)$ $(01\bar{1}1) = 106°\ 3'$. Clivages e^1 $(02\bar{2}1)$ indistincts. Pas d'allongement déterminé.

II. Groupements par pénétration avec rotation de 60° autour de l'axe ternaire : les secteurs, dans les sections a^1 (0001), polarisent faiblement et paraissent positifs dans la direction radiale.

Ces groupements, incomplètement étudiés, sont très analogues à ceux de la herschélite.

III. Double réfraction à un axe négatif (—) n^e_p.

$$N = 1,50$$

$n_g - n_p = 0,002$ (Lx).

GROUPE DES MÉSOTYPES

Ce groupe renferme trois types principaux : mésotypes orthorhombiques (natrolite), mésotypes monocliniques (scolésite), mésotypes tricliniques (mésolite).

NATROLITE (MÉSOTYPE)

$Na^2 Al^2 Si^3 O^{10} + 5 Aq.$

Densité 2,17 à 2,25.

I. Orthorhombique. $a = 0{,}983$, $b = 1$, $c = 0{,}352$, *mm* (110) (1$\bar{1}$0) = 91°. Clivage *mm* (110) (1$\bar{1}$0); cassures suivant *p* (001). Allongement très net suivant h^1g^1 (100) (010); sphérolithes et parfois masses grenues ou palmées. La zone d'allongement est poitive.



II. Groupements irréguliers par pénétration dans les variétés compactes.

III. Plan des axes optiques parallèle à g^1 (010). La bissectrice est positive n_g et perpendiculaire à *p* (001).

Fig. 208. Section g^1.

$(+)\ 2V = 58°$ rouge (Dx).
$n_g = 1{,}4887$ rouge (Dx).
$n_m = 1{,}4797$ —
$n_p = 1{,}4768$ —
$n_g - n_p = 0{,}0119$

SCOLÉSITE

$Ca Al^2 Si^3 O^{10} + 3 Aq.$

Densité 2,2 à 2,3

Monoclinique; paramètres voisins de ceux de la natrolite[1]; ph^1 (001) (100) = 90° 30', *mm* (110) (1$\bar{1}$0) = 91° 22'.

Clivages nets suivant *mm* (110) (1$\bar{1}$0). Allongement très marqué suivant la zone négative *mm* (110) (1$\bar{1}$0) dont l'angle d'extinction maximum a lieu dans g^1 (010) à 22° de l'arête de zone.

II. Macle très fréquente suivant h^1 (100) : d'après M. Luedecke[2], l'un des individus appartient à la scolésite monoclinique, et l'autre à une mésolite monoclinique, de sorte que la zone perpendiculaire

[1] L. Smidt. *Zeitsch. f. Krystall.*, XI, 587, 1886.
[2] Luedecke. *Neues. Jahrb. f. Minér.*, 1881, Bd. II, 1.

à h^1 ne donne pas d'extinctions symétriques. L'angle, compris entre les lamelles hémitropes dans g^1 (010), serait de 31°.

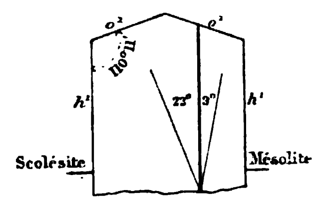


FIG. 209. — Macle de scolésite et de mésolite d'après M. Luedecke. Section g^1.

III. Plan des axes optiques perpendiculaire à g^1 (010) : bissectrice négative n_p dans g^1 (010) et faisant avec h^1 (100) dans

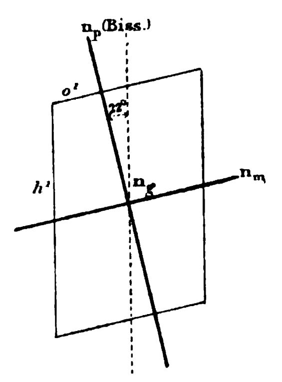


FIG. 210. — Section g^1.

l'angle obtus ph^1 (001) (100) un angle de 22°.

$$(-)\ 2\,\mathbf{V} = 36^\circ \quad \text{rouge (Luedecke).}$$
$$\mathbf{n_m} = 1{,}502 \quad \text{rouge (Dx).}$$
$$\mathbf{n_g} - \mathbf{n_p} = 0{,}008 \quad \text{(Lx).}$$

MÉSOLITE

Densité 2,18 à 2,23. Même composition que la scolésite.

1. Triclinique; formes voisines de celles de la natrolite. mt $(1\bar{1}0)$ (110) = 91° 27'.

Clivages mt $(1\bar{1}0)$ (110) nets. Allongement suivant la zone mt négative. Extinction maximun de 17°.

II. Macles suivant g^1 (010) (Luedecke)[1].

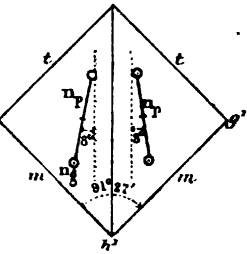


Fig. 211. — Macle simple. Section perpendiculaire à *mt*.

Groupements par pénétration avec contact suivant g^1 (010) et h^1 (100) et division en quatre secteurs (Dx).

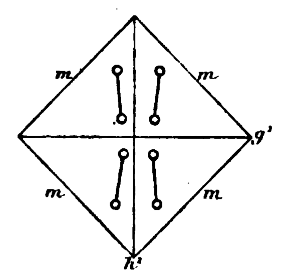


Fig. 212. — Groupement par pénétration. Section perpendiculaire à *mt*.

III. Le plan des axes optiques est voisin de g^1 (010). (Luedecke); la bissectrice négative n_p est voisine de l'arête *mt*.

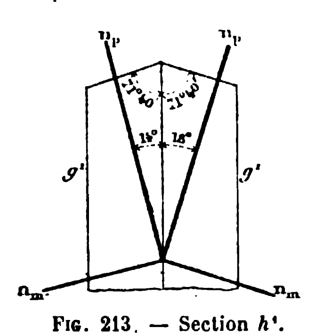


Fig. 213. — Section h^1.

Dans les sections h^1 (100), l'extinction a lieu de 14° à 18° de h^1g^1 (100) (010).

Dans les sections g^1 (010) l'extinction se produit à 8° de h^1g (100) (010).

[1] Luedecke. *Neues. Jahrb. f. Minér.*, 1881, Bd. II, 1.

Dans les sections perpendiculaires à *mt* $(1\bar{1}0)$ (110), extinctions et plan des axes à 8° de la trace g^1 (010).

$$(-)\ 2\,\mathbf{V} = 35^\circ \text{ (environ) } \rho < \nu.$$

On trouve fréquemment un mélange d'aiguilles négatives de scolésite avec des aiguilles positives de natrolite (Lx).

OKÉNITE

$$CaSi^2O^5 + 2\,Aq.$$

Densité 2,28 à 2,36.

I. Orthorhombique. *mm* $(110)(1\bar{1}0) = 122°\,20'$; nodules à structure très serrée (xonolite) et tenace. Allongement suivant la zone *mm* (110) $(1\bar{1}0)$ positive. Clivage parallèle à cet allongement.

II. Enchevêtrement d'un tissu de fines aiguilles parfois arborisées.

III. Plan des axes optiques parallèle à l'arête h^1g^1 (100) (010). Bissectrice négative n_p perpendiculaire à une face de la zone h^1 d'allongement (Lx).

$$(-)\ 2\,\mathbf{V} = \text{grand.}$$

$$\frac{n_g + n_m + n_p}{3} = 1{,}556 \text{ (Feroë, ML et Lx).}$$

$$n_g - n_p = 0{,}009 \text{ (Lx).}$$

PECTOLITE

$$(Ca, Na^2, H^2)\,Si\,O^3.$$

Densité 2,74 à 2,88.

I. Monoclique, isomorphe avec la wollastonite; mêmes paramètres et mêmes angles. Clivages *p* (001) et $a^{1/2}$ $(\bar{2}01)$ parfaits, $pa^{1/2}$ (001) $(\bar{2}01) = 95°\,23'$.

Zone d'allongement ph^1 (001) (100) positive, parallèle au plan des axes optiques. Le plan des axes optiques est transversal dans la wollastonite.

Structure fibreuse souvent très accentuée.

II. Macles suivant p (001).

III. Plan des axes optiques perpendiculaire à g^1 (010) et voisin de $a^1/^2$ ($\bar{2}01$) (Lx). La bissectrice est positive n_g, et perpendiculaire à g^1 (010) ; la normale optique n_p est presque perpendiculaire au clivage facile p (001).

$$(+)\ 2\ \mathbf{V} = 60^\circ.$$
$$\mathbf{N} = 1{,}61$$
$$\mathbf{n_g} - \mathbf{n_p} = 0{,}038\ (\text{Lx}).$$

PREHNITE

$H^2\ Ca^2\ Al^2\ Si^3\ O^{12}$.

Densité 2,92.

I. Orthorhombique. $a = 0{,}840$, $b = 1$, $c = 0{,}844$, mm (110) ($1\bar{1}0$) $= 80^\circ$, pa^1 (001) (101) $= 134^\circ\ 52'$.

Clivage très facile suivant p (001), cassures mm (110) ($1\bar{1}0$) et h^1 (100).

Aplatissement suivant p (001). Allongement suivant pg^1 (001) (010). La zone d'allongement est négative et parallèle au plan des axes optiques.

Masses mamelonnées, fibreuses, en sphérolithes et en rosette.

II. Groupements très complexes (Dx, Mallard)[1] par associations, dans quelques variétés. La face p (001) est divisée en trois secteurs :

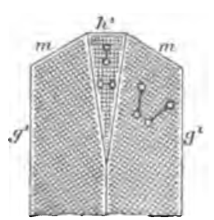


Fig. 214. — Section p.

Le secteur central, en forme de coin, montre des lamelles parallèles et perpendiculaires à h^1 (100) : il s'éteint suivant cette direction.

Les secteurs latéraux présentent des lamelles parallèles à mm (110) ($1\bar{1}0$) : ils ne s'éteignent dans aucune position et leurs couleurs de biréfringence varient pendant la rotation.

III. Plan des axes optiques parallèle à g^1 (010). La bissectrice positive n_g est perpendiculaire à p (001). Dispersion tournante (1).

[1] Des Cloizeaux. *Bull. Soc. Min.*, V, 50 et 125, 1882.
Mallard. *Id.*, 70 et 195.

Dans les groupements complexes, le secteur central montre le plan des axes optiques tantôt parallèle, tantôt perpendiculaire à h^1 (100) : 2 V très variable peut devenir nul : la bissectrice perpendiculaire à *p* (001) est alors tantôt positive, tantôt négative. M. Mallard suppose une association de lamelles du cristal primi-

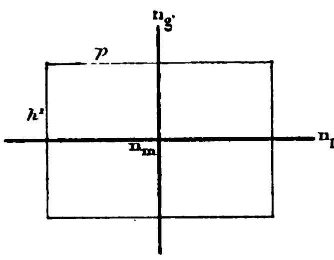


Fig. 215. — Section *p*.

tif avec des lamelles ayant tourné de 90° autour d'un axe perpendiculaire à g^1 (010) (n_m).

Dans les secteurs latéraux, l'association, plus complexe encore, résulterait de rotations de 60° autour d'un axe pseudosénaire perpendiculaire à *p* (001) (n_g).

Les paramètres cristallographiques de la prehnite se prêtent à cette explication : mais cette dernière ne rend pas compte de l'orientation des lamelles visibles en lumière parallèle.

(+) 2 V = 66° jaune. (Mallard.)

$n_g = 1,649$ (Dx)

$n_m = 1,626$ —

$n_p = 1,616$ —

$n_g - n_p = 0,034$ (Lx).

STILBITE

(DESMIN)

$Ca\,Al^2\,Si^6\,O^{16} + 6\,Aq$.

Densité 2,09 à 2,20.

I. Monoclinique. $a = 0,928$, $b = 1$, $c = 0,756$, *mm* (110) ($1\bar{1}0$) = 94° 16', ph^1 (001) (100) à peu près droit.

Cristaux ordinairement tabulaires, aplatis suivant g^1 (010) et allongés suivant h^1g^1 (100) (010).

Clivage g^1 (010) très facile, à surface ondulée.

Zone d'allongement h^1g^1 (100) (010) négative : angle d'extinction maximum dans g^1 (010) de 8°. Extinctions longitudinales dans la zone ph^1 (001) (100).

Quelques variétés (puflérite) affectent la forme sphérolithique avec allongement des éléments du sphérolithe suivant h^1g^1 (100) (010).

Parfois inclusions d'hématite irrégulièrement disséminées donnant aux échantillons de stilbite une belle couleur rouge.

II. Anomalies optiques[1]; enchevêtrements de lamelles hémitropes; les lamelles de clivage montrent des secteurs nombreux à séparations ondulées.

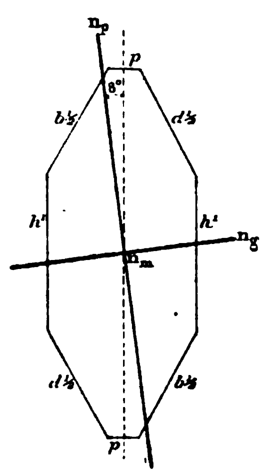


Fig. 216. — Section g^1.

III. Plan des axes optiques parallèle à g^1 (010). La bissectrice est négative n_p et fait un angle de 8° avec h (100).

$$(-)\ 2V = 33°$$

$n_g = 1{,}500$ Kilpatrick. (ML et Lx).
$n_m = 1{,}498$ —
$n_p = 1{,}494$ —

$n_g - n_p = 0{,}006$ (ML et Lx.)

THOMSONITE

$$(Ca, Na^2)^2 Al^4 Si^4 O^{16} + 5 Aq.$$

Densité 2,31 à 2,38.

I. Orthorhombique. $a = 0{,}989$, $b = 1$, $c = 1{,}372$, mm (110) (1$\bar{1}$0) = 90° 40'.

Clivage facile g^1 (010).

[1] Von Lasaulx. *Zeitsch. für Krystall.* 1878, II. 576.

Allongement suivant h^1g^1 (100) (010), tantôt faiblement marqué (comptonite), tantôt très net (thomsonite) : parfois la thomsonite se groupe en sphérolithes à éléments très fins (mésole), ou en masses lamellaires[1]. C'est à cette dernière variété qu'il faut rapporter la plupart des substances désignées sous le nom de gyrolites.

La zone d'allongement h^1g^1 (100) (010) est tantôt positive [g^1 (010)], tantôt négative [h^1 (100)], par suite de la position du plan des axes optiques transversal à cet allongement.

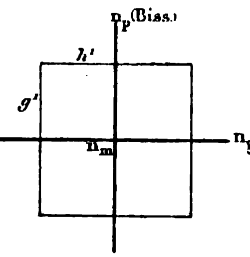


Fig. 217. — Section *p*.

III. Plan des axes optiques parallèle à *p* (001), c'est-à-dire transversal à l'allongement. La bissectrice est positive n_g et perpendiculaire à g^1 (010).

Le plan de biréfringence maximum est la section droite des aiguilles.

$$(+)\ 2\,V = 35°$$
$$n_g = 1{,}525 \quad \text{rouge} \quad (Dx)$$
$$n_m = 1{,}503$$
$$n_p = 1{,}497$$
$$n_g - n_p = 0{,}027$$

ZIRCON

$ZrSiO^4$.

Densité, 4,5 à 4,7. Infusible, inattaquable, le zircon perd sa couleur brune par la calcination et devient phosphorescent.

Gisement dans toutes les roches éruptives et métamorphiques, principalement en inclusions dans les silicates magnésiens et ferrugineux. Autour des cristaux de zircon se développent de larges auréoles polychroïques, très caractéristiques dans les micas noirs et la cordiérite. L'allanite et la dumortiérite jouissent seules au même degré de cette propriété.

[1] Lacroix. *C. R.*, 1887.

I. Quadratique; $a = 1$, $c = 0{,}906$, a^1a^1 (101) ($\bar{1}01$) sur p (001) $= 95°40'$; formes habituelles mm (110) ($1\bar{1}0$), h^1(100), a^1 (101).

Allongement suivant la zone positive mm (110) ($1\bar{1}0$).

Clivages très nets suivant h^1 et a^1 dans les grands cristaux; difficiles à observer dans les fins cristaux.

Brun pâle, presque incolore, le zircon n'est pas polychroïque en lame mince. Les cristaux sont souvent zonés.

II. Macle en genou analogue à celles du rutile, mais très rare.

Anomalies optiques signalées par M. Mallard.

Dans une section p (001), le centre est occupé par des lamelles parallèles aux diagonales de la section et s'éteignant suivant ces diagonales; elles donnent en lumière convergente un axe positif. Les bords sont occupés par quatre secteurs parallèles au côtés du carré et s'éteignant suivant ces côtés : les plans des axes des deux secteurs adjacents biaxes sont perpendiculaires aux côtés du carré. Le réseau fondamental du zircon serait monoclinique.

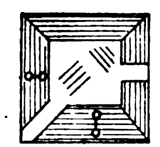


Fig. 218. Section p.

Ces anomalies optiques ne peuvent s'observer dans les lames minces de roches où le zircon se comporte comme un minéral rigoureusement à un axe.

Le malacon est le résultat d'une décomposition du zircon qui le transforme en une matière amorphe, opaque même en lames minces.

	ROUGE [1]	JAUNE [2]	JAUNE [2]
$n_g^e =$	1,97	1,9682	1,9931
$n_p^o =$	1,92	1,9236	1,9313

$$n_g - n_p = 0{,}055 \text{ à } 0{,}062$$

Le *Xénotime* [3 (Y, Ce) O, P^2O^5] quadratique et affectant les mêmes formes que le zircon, en possède toutes les propriétés optiques; il s'en distingue par sa biréfringence plus élevée. (Granulites, sables diamantifères.)

[1] Sénarmont.
[2] Sanger.

MINÉRAUX		Système cristallin.[1]	Allongement ou aplatissement — Arête d'allongement. Face d'aplatissement.	Allongement ou aplatissement — Signe de la zone.	Allongement ou aplatissement — Extinction maximum.	Signe du minéral.	Angle vrai des axes optiques. 2 V	Réfringence. n_g	Réfringence. n_m	Réfringence. n_p	Biréfringence. n_g-n_p	$+(n_g-n_m)>(n_m-n_p)$ $-(n_g-n_m)<(n_m-n_p)$ n_g-n_m	n_m-n_p	Renvoi aux pages.
Alunite		R	a^1	—	0°	+	0°	1,592	»	1,572	0,020	»	»	140
Amblygonite	proprement dite	T	»	»	»	—	50...55°	1,597	1,593	1,578	0,019	0,004	0,015	140
	Montebrasite	T	»	»	»	—	60...90°	1,620	1,611	1,600	0,020	0,009	0,011	141
Amphiboles	Anthophyllite	O	*mm*	+	0°	+	50.. 80°	1,657	1,642	1,633	0,024	0,015	0,009	149
	Gédrite	O	*mm*	+	0°	—	50...80°	....	....	.	0,024	....	....	149
	Actinote	M	*mm*	+	15°	—	80°	1,636	1,627	1,611	0,025	0,009	0,016	144
	Arfvedsonite	M	*mm*	+	0...12°	—	...	1,708	1,707	1,687	0,021	0,001	0,020	147
	Glaucophane	M	*mm*	+	4....6°	—	42°	....	1,644	....	0,022	....	....	148
	Grunérite	M	*mm*	+	11...15°	—	50°	....	1,73.	....	0,056	....	....	147
	Hornblende	M	*mm*	+	15...22°	—	84°	1,653	1,642	1,630	0,023	0,011	0,012	145
	Hornblende-ferrifère	M	*mm*	+	0...10°	—	80°	1,752	1,725	1,680	0,072	0,027	0,045	146
	Pargasite	M	*mm*	+	18...21°	+	58...60°	1,632	1,620	1,613	0,019	0,012	0,007	146
	Richtérite	M	*mm*	+	20°	—	80°	1,64.	1,63.	1,62.	0,024	0,011	0,013	145
	Trémolite	M	*mm*	+	15°	—	80...88°	1,634	1,621	1,607	0,027	0,013	0,014	144
	Gossyrite	T (M)	*mt*	+	39°	..	...	....	....	....	...	....	...	150
Anatase		Q	*p*	+	0°	—	0°	2,54.	»	2,49.	0,050	»	»	151
Andalousite		O	*mm*	—	0°	—	84°	1,643	1,638	1,632	0,011	0,005	0,006	152
Apatite		H	*mm*	—	0°	—	0°	1,638	»	1,634	0,004	»	»	153
Aragonite		O (H)	*mm*	—	0°	—	18°	1,685	1,681	1,530	0,155	0,004	0,151	154
Ardennite		O (H)	g^1	+	0°	+	69°	....	....	....	0,020	...	....	155
Astrophyllite		T (H)	*p*	+	0°	+	77°	1,733	1,703	1,678	0,055	0,030	0,025	156
Autunite		O	*p*	+	0°	—	30°	1,577	1,575	1,553	0,024	0,002	0,022	157
Axinite		T	»	»	»	—	71...74°	1,681	1,677	1,672	0,009	0,004	0,005	157
Barytine		O	*p*	+	0°	+	35°	1,647	1,637	1,636	0,011	0,010	0,001	158
Béryl		H	*mm*	-	0°	—	0°	1,575	»	1,570	0,005	»	»	159

[1] C = cubique. Q = quadratique. R = rhomboédrique. H = hexagonal. O = orthorhombique. M = monoclinique. T = triclinique. Les lettres entre parenthèses indiquent les formes limites; exemple O(H) = orthorhombique, pseudo-hexagonal.

Brookite		O	p	—	0°	+	...	....	2,53.	....	....	....	....	160
Brucite		R	a^1	—	0°	+	0°	1,581	»	1,560	0,021	»	»	162
Calcite		R	»	»	»	—	0°	1,658	»	1,486	0,172	»	»	162
Cancrinite		H	mm	—	0°	—	0°	1,524	»	1,495	0,029	»	»	163
Carpholite		M	mm	+	5°	—	60°	....	1,627	....	0,022	....	....	164
Cassitérite		Q	mm	+	0°	+	0°	2,093	»	1,996	0,097	»	»	165
Catapléite		H	p	—	0°	+	0°	1,629	»	1,599	0,030	»	»	166
Chlorites	Pennines, ripidolites	M (H)	p	±	0°	±	0...10°	1,579	....	1,576	0,003	....	....	168
	Clinochlores	M (H)	p	—	15°	+	0...55°	1,596	1,588	1,585	0,011	0,008	0,003	168
	Delessites	M (H)	p	+	0°	—	0°	....	1,619	....	0,014	....	....	169
Chloritoïde		T (H)	p	—	3°	+	45°	....	1,718	....	0,015	....	....	169
Clintonite		M (H)	p	+	1°	—	0...20°	1,658	1,657	1,646	0,012	0,001	0,011	171
Cordiérite		O	mm	—	0°	—	40...84°	1,539	1,536	1,532	0,007	0,003	0,004	172
Corindon		R	a^1	+	0°	—	0°	1,769	»	1,760	0,009	»	»	174
Cymophane		O (H)	»	»	»	+	44°	1,756	1,748	1,747	0,009	0,008	0,001	175
Danburite		O	mm	±	0°	»	90°	1,633	1,630	1,626	0,007	0,003	0,004	176
Datholite		M	»	»	»	—	74°	1,670	1,654	1,626	0,044	0,016	0,028	177
Diaspore		O	g^1	—	0°	+	84°	1,750	1,722	1,702	0,048	0,028	0,020	178
Disthène		T	mt	+	30°	—	82°	1,728	1,720	1,712	0,016	0,008	0.008	179
Dolomie		R	»	»	»	—	0°	1,682	»	1,503	0 179	»	»	163
Dumortiérite		O (H)	mm	—	0°	—	30°	....	1,65.	....	0,010	....	....	180
Epidotes	Zoïsite	O	mm	±	0°	+	12...28°	1,702	1,696	1,696	0.006	0,006	0,000	182
	Epidote	M (O)	ph^1	±	0°	—	44°	1,768	1,754	1,730	0.038	0,014	0,024	183
	Allanite	M (O)	ph^1	±	0°	—	67°	....	1,78.	....	0,032	...	....	184
	Orthite	M (O)	ph^1	..	...	..	...	....	1,682	....	0,000	....	....	186
Euclase		M	mm	+	41°	+	50°	1,671	1,655	1,652	0,019	0,016	0,003	186
Eudialyte		R	»	»	»	+	0°	....	»	....	0,003	»	»	187
Eucolite		R	»	»	»	—	0°	1,622	».	1,618	0,004	»	»	187
Feldspaths	Orthose	M	pg^1	—	5°	—	70°	1,526	1,523	1,519	0,007	0,003	0,004	187
	Anorthose	T (M)	mt	±	45°	—	56°	1,530	1,529	1.523	0,007	0,001	0,006	191
	Microcline	T (M)	g^1	—	18°	—	83°	1,529	1,526	1,523	0,006	0,003	0,003	193
	Albite	T	pg^1	—	20°	+	...	1,540	1,534	1,532	0,008	0,006	0,002	203
	Oligoclase	T	pg^1	—	5°	—	...	1,542	1,538	1,534	0,008	0,004	0,004	205
	Andésine	T	pg^1	—	0°	—	...	1,556	1,553	1,549	0,007	0,003	0,004	207
	Labrador	T	pg^1	—	31°	+	...	1,562	1,557	1,554	0,008	0,005	0,003	208
	Anorthite	T	g^1	±	45°	—	...	....	1,566	....	0,013	....	....	210

MINÉRAUX	Système cristallin.	Allongement ou aplatissement: Arête d'allongement. Face d'aplatissement.	Signe de la zone.	Extinction maximum.	Signe du minéral.	Angle vrai des axes optiques. $\overline{2V}$	Réfringence. n_g	n_m	n_p	Biréfringence. n_g-n_p	$+(n_g-n_m)>(n_m-n_p)$ $-(n_g-n_m)<(n_m-n_p)$ n_g-n_m	n_m-n_p	Renvoi aux pages.
Fer oligiste	R	a^1	..	...	+	0°	....	1,90.	....	....	....	....	212
Fluorine	(C)	»	»	»	»	»	»	1,433	»	»	»	»	212
Gadolinite	M (O)	»	»	»	+	...	....	1,78.	....	....	....	....	214
Gehlénite	Q	*mm*	—	0°	—	0°	1,663	»	1,658	0,005	»	»	215
Göthite	O	*mm*	+	0°	+	26°	....	1,80.	....	....	....	....	215
Grenats: Grossulaire	(C)	»	»	»	»	»	»	1,76.	»	»	»	»	216
Grenats: Almandin	(C)	»	»	»	»	»	»	1,77.	»	»	»	»	216
Grenats: Pyrope	(C)	»	»	»	»	»	»	1,81.	»	»	»	»	216
Gypse	M	h^1g^1	±	45°	+	58°	1,529	1,522	1,520	0,009	0,007	0,002	218
Haüyne: Noséane	C	»	»	»	»	»	»	1,46.	»	»	»	»	220
Haüyne: Sodalite	C	»	»	»	»	»	»	1,485	»	»	»	»	221
Helvine	C	»	»	»	»	»	»	1,739	»	»	»	»	221
Herdérite	O	pg^1	—	0°	—	67°	1,621	1,612	1,592	0,029	0,009	0,020	222
Homilite	M	»	»	»	+	...	....	1,678	....	0,021	....	....	222
Humites	M (O)	»	»	»	+	...	1,639	1,619	1,607	0,032	0,020	0,012	223
Hydrargillite	M (H)	pg^1	±	45°	+	0...40°	....	1,59.	....	0,019	....	....	226
Idocrase	Q	*mm*	—	0°	—	0°	1,722	»	1,720	0,002	»	»	227
Ilvaïte	O	*mm*	+	0°	+	...	....	1,78.	....	....	....	....	229
Lazulite (Klaprothite)	M	»	»	»	—	69°	1,639	1,632	1,603	0,036	0,007	0,029	229
Leucite	O (C)	»	»	»	+	...	1,509	....	1,508	0,001	....	....	230

Låvenite		M	*mm*	—	20°	—	...	....	....	....	0,030	....	....	234
Leucophane		O (Q)	»	»	»	—	44°	1,594	1,591	1,570	0,024	0,003	0,021	235
Mélinophane		Q	*p*	+	0°	—	0°	1,611	»	1,592	0,029	»	»	236
Mélilite		Q	*p*	+	0°	—	0°	1,632	»	1,627	0,005	»	»	237
Micas	Phogopite	M (H)	*p*	+	0°	—	0...10°	1,606	»	1,562	0,044	»	»	238
	Méroxène	M (H)	*p*	+	0°	—	0...10°	....	....	....	0,040	....	....	238
	Muscovite	M (H)	*p*	+	0°	—	30...60°	1,613	1,610	1,571	0,042	0,003	0,039	238
	Margarite	M (H)	*p*	+	0°	—	30...60°	....	....	....	0,038	....	....	228
Monazite		M	»	»	»	+	15°	....	....	....	....	....	....	242
Mosandrite		M	*h*¹	—	3°	+	56°	....	1,75.	....	0,009	....	....	243
Néphéline		H	*mm*	—	0°	—	0°	1,545	»	1,540	0,005	»	»	245
Périclase		C	»	»	»	»	»	»	1,66.	»	»	»	»	246
Péridots	Olivine	O	*pg*¹	±	0°	+	87°	1,697	1,678	1,661	0,036	0,019	0,017	247
	Fayalite	O	*pg*¹	±	0°	—	55°	....	....	....	0,049	....	....	248
Pérowskite		O (C)	»	»	»	±	90°	....	2,35.	....	0,006	....	....	249
Pétalite		M	»	»	»	+	84°	1,516	1,510	1,504	0,012	0,006	0,006	251
Phénacite		R	»	»	»	+	0°	1,670	»	1,654	0,016	»	»	252
Pholérite (kaolin)		T (H)	*p*	+	20°	—	...	....	....	....	....	....	....	253
Pyrochlore		C	»	»	»	»	»	»	....	»	»	»	»	254
Pyrophyllite		O	*p*	+	0°	—	62°	....	1,58.	....	0,041	....	....	254
Pyroxènes	Enstatite	O	*mm*	+	0°	+	80°	1,674	1,669	1,665	0,009	0,005	0,004	260
	Hypersthène	O	*mm*	+	0°	—	65...85°	1,705	1,702	1,692	0,013	0,003	0,010	261
	Augite	M	*mm*	+	40...54°	+	60...68°	1,728	1,712	1,706	0,022	0,016	0,006	264
	Diallage	M	*h*¹	+	39...46°	+	54°	1,703	1,681	1,679	0,024	0,022	0,002	263
	Diopside	M	*mm*	+	38°	+	59°	1,700	1,678	1,671	0,029	0,022	0,007	262
	Jadéite	M	*mm*	+	31...45°	+	70°	....	....	....	0,029	...	....	266
	Œgyrine	M	*mm*	—	5°	±	90°	....	1,808	....	0,052	....	....	267
	Triphane	M	*mm*	+	26°	+	54...60°	1,676	1,666	1,660	0,016	0,010	0,006	265
	Wollastonite	M	*ph*¹	±	0°	—	40°	1,635	1,633	1,621	0,014	0,002	0,012	270
	Babingtonite	T	*mt*	±	45°	+	60...65°	....	....	....	0,032	....	....	268
	Rhodonite	T	*mt*	±	45°	—	76°	....	1,73.	....	0,010	....	....	269

MINÉRAUX		Système cristallin.	Allongement ou aplatissement: Arête d'allongement. Face d'aplatissement.	Signe de la zone.	Extinction maximum.	Signe du minéral.	Angle vrai des axes optiques. 2 V	Réfringence. n_g	n_m	n_p	Biréfringence. n_g-n_p	$+(n_g-n_m)>n_m-n_p$ $-(n_g-n_m)<(n_m-n_p)$ n_g-n_m	n_m-n_p	Renvoi aux pages.
Quartz.....	Quartz.............	R	e^2e^2	+	0°	+	0°	1,553	»	1,544	0,009	»	»	272
	Tridymite..........	T (R)	p	—	0°	+	38...43°	....	1,428	1,411	....	....	....	274
Rutile........................		Q	mm	+	0°	+	0°	2,903	»	2,616	0,287	»	»	275
Saphirine.....................		M	g^1	±	0°	—	65°	....	....	....	0,009	....	....	277
Serpentine...	Chrysotile..........	O	mm	+	0°	+	30°	....	....	....	....	....	....	278
	Antigorite..........	O	g^1	+	0°	—	20°	1,571	1,570	1,560	0,011	0,001	0,010	279
Sillimanite...................		O	mm	+	0°	+	25°	1,680	1,661	1,659	0,021	0,019	0,002	279
Spinelles...	Chromite..........	C	»	»	»	»	»	»	2,096	»	»	»	»	280
	Spinelle...........	C	»	»	»	»	»	»	1,715	»	»	»	»	280
Sphène........................		M	»	»	»	+	23...34°	2,009	1,894	1,888	0,121	0.115	0,006	282
Staurotide....................		O	mm	+	0°	+	88°	1,746	1,741	1,736	0,010	0,005	0,005	283
Talc..........................		O (H)	p	+	0°	—	7°	....	1,55.	....	0,038...0,054	....	....	285
Thaumasite....................		Q	mm	—	0°	—	0°	1,507	»	1,468	0.039	»	»	286
Topaze........................		O	mm	+	0°	+	62°	1,621	1,613	1,611	0,010	0,008	0,002	286
Tourmaline....................		R	e^2e^2	—	0°	—	0°	1,643	»	1,623	0,020	»	»	287
Vermiculite...................		M (H)	p	+	0°	—	20°	....	....	....	0,068	....	....	288
Völknérite....................		H	p	±	0°	±	0°	....	1,47.	....	0,014	....	....	289
Wagnérite.....................		M	»	»	»	+	26°	1,582	1,570	1,569	0,013	0,012	0,001	290
Warwickite....................		O	mm	—	0°	+	...	....	....	....	0,022	....	....	291
Wavellite.....................		O	mm	+	0°	+	50°	....	1,526	....	0,025	....	....	291
Wernérites...	Meionite..........	Q	mm	—	0°	—	0°	1,596	»	1,560	0,036	»	»	293
	Paranthine.........	Q	mm	—	0°	—	0°	1,566	»	1,545	0,021	»	»	293
	Dipyre.............	Q	mm	—	0°	—	0°	1,558	»	1,543	0.015	»	»	293
Wöhlérite.....................		M	h^1	±	45°	—	74°	1,726	1,716	1,700	0,026	0,010	0,016	294

Zéolites	Analcime	(Ɑ) O	»	»	»	—	...	»	1,487	»	0,010	»	»	298
	Apophyllite	(H) O	»	»	»	±	...	1,533	»	1,532	0,001	»	»	300
	Brewstérite	W	mm	—	22°	+	...	....	1,45.	....	0,012	....	....	301
	Chabasie	W	»	»	»	—	0°	....	1,50.	....	0,003	»	»	302
	Christianite	ᴚ	mm	+	30°	+	62...80°	....	1,54.	....	0,003	....	....	303
	Epistilbite	W	mm	+	9°	—	44°	1,512	1,510	1,502	0,010	0,002	0,008	304
	Eudnophite	(Ɑ) O	»	»	»	—	45°	....	1,49.	....	....	....	....	305
	Gismondine	(Ɔ) O	»	»	»	+	40°	....	1,52.	....	0,008	....	....	306
	Gmélinite	R	a^1	±	0°	±	0°	....	1,48.	....	0,001	»	»	307
	Harmotôme	M	pg^1	±	45°	+	43°	1,508	1,506	1,503	0,005	0,002	0,003	308
	Herschélite	M	p	+	0°	—	0...18°	....	1,46.	....	....	....	....	309
	Heulandite	M (O)	g^1	—	0°	+	...	1,505	1,499	1,498	0,007	0,006	0,001	310
	Laumonite	M	$m'm$	+	45°	—	30°	1,525	1,524	1,513	0,012	0,001	0,011	211
	Lévyne	R	»	»	»	—	0°	....	1,50.	....	0,002	»	»	312
	Natrolite	O	mm	+	0°	+	58°	1,489	1,480	1,477	0,012	0,009	0,003	313
	Scolésite	M	mm	—	22°	—	36°	....	1,502	....	0,008	....	....	313
	Mésolite	T	mt	—	17°	—	35°	....	....	....	0,008	....	....	314
	Okénite	O	mm	+	0°	—	...	....	1,556	....	0,009	....	....	316
	Pectolite	M	ph^1	+	0°	+	...	....	1,61.	....	0,038	....	....	316
	Prehnite	O	pg^1	—	0°	+	66°	1,649	1,626	1,616	0,033	0,023	0,010	317
	Stilbite	M	mm	—	8°	—	33°	1,500	1,498	1,494	0,006	0,002	0,004	318
	Thomsonite	O	mm	±	0°	+	35°	1,525	1,503	1,497	0,028	0,022	0,006	319
Zircon		Q	mm	+	0°	+	0°	1,993	»	1,931	0,062	»	»	320

INDEX[1]

[1] Les noms en italiques représentent des variétés ou synonymes.

ERRATA

Page	3	*en note*	*au lieu de*	$n'_p < n_p$	*lire*	$n'_p > n_p$.
—	6	*ligne* 10	—	peuvent l'être	—	le sont.
—	64	*en note*	—	Vallerand	—	Wallerant.
—	88	*ligne* 25	—	$n \sin \theta = n_v \sin \theta$	—	$n \sin \theta = n_v \sin \theta_v$.
—	148	*ligne* 3	—	Langensundfjœrd	—	Langesundfjœrd.
—	148	*ligne* 18	—	(-) 2 V = 42°	—	(-) 2 V = 5 à 42°.
—	149	*lignes* 2, 4, 14	—	Antophyllite	—	Anthophyllite.
—	150	*ligne* 4	—	$\rho > v$	—	$\rho < v$.
—	154	*ligne* 18	—	h^1 (010)	—	h^1 (100).
—	161	*ligne B*	—	broockite	—	brookite.
—	161	*lignes* 1 et 11	—	pseudo-bkoockite	—	pseudo-brookite.
—	172	*ligne* 5	—	Xantophyllite.	—	Xanthophyllite.
—	175	*ligne* 17	—	g	—	g^1.
—	228	*ligne* 11	—	n^o	—	n^o_p.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

ERRATA (Suite)

Page 152	*ligne* 5	*au lieu de*	90°84'	*lire*	90°48'.
— 158	*ligne* 3	—	$e^1 (01\bar{1})$	—	$c^1 (\bar{1}12)$
— 160	*ligne* 18	—	86°40'	—	93°20'.
— 167	*ligne* 4	—	91° 20'	—	90° 20.
— 174	*ligne* 1	—	Polychwilite	—	Polychroïte.
— 178	*ligne* 10	—	$a = 0{,}644$, $b = 1$, $c = 1{,}067$ *lire* $a = 0{,}937$, $b = 1$, $c = 0{,}604$.		
— 184	*ligne* 11	—	(—) 2 V = 44°	*lire*	(—) 2 V = 75°.
— 191	*ligne* 6	—	1,6181	—	1,5181.
— 206	*ligne* 6	—	ρ v	—	ρ < v.
— 210	*ligne* 19	—	$a = 0{,}625$	—	$a = 0{,}635$.
— 222	*ligne* 9	—	$a = 0{,}6783$, $b = 1$, $= c = 1{,}5971$ *lire* $a = 0{,}626$, $b = 1$, $c = 0{,}424$.		
— 222	*ligne* 10	—	155°53'	*lire*	115°53'.
— 227	*ligne* 15	—	$c = 3{,}798$	—	$c = 0{,}3798$.
— 252	*ligne* 27	—	$c = 0{,}651$	—	$c = 0{,}661$
— 278	*ligne* 8	—	009	—	0,009.
— 293	*ligne* 11	—	Ca : Na	—	Na : Ca.
— 302	*ligne* 8	—	$c = 0{,}836$	—	$c = 1{,}086$.
— 309	*fig.* 204	—	n_m	—	n_p.
			n_p	—	n_m.
— 309	*ligne* 6	—	43°	—	86°.
— 310	*ligne* 18	—	$a = 0{,}396$, $b = 1$, $c = 0{,}470$ *lire* $a = 0{,}403$, $b = 1$, $c = 0{,}859$.		
— 317	*ligne* 14		80°	*lire*	99°56'.
— 319	*ligne* 20	—	h	—	$h^1 g^1$.
— 320	*ligne* 17	—	35°	—	53°.
— 323	*ligne* 23	—	44°	—	75°.
— 327	*ligne* 10	—	43°	—	86°.
— —	*ligne* 2 (en remontant)	*au lieu de*	35°	*lire*	53°.

